

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE MORFOFISIOLOGIA VEGETAL



**“VARIABILIDAD DE RASGOS FUNCIONALES DE 7
POBLACIONES DE ALGARROBO (*Prosopis pallida*
H.B.K) BAJO CONDICIONES CONTROLADAS”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

PRESENTADO POR:

Br. MARCO ANTONIO BALCAZAR HUAMAN

**PIURA – PERÚ
2017**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE MORFOFISIOLOGIA VEGETAL



**“VARIABILIDAD DE RASGOS FUNCIONALES DE 7
POBLACIONES DE ALGARROBO (*Prosopis pallida* H.B.K)
BAJO CONDICIONES CONTROLADAS**

TESIS

**PRESENTADA A LA FACULTAD DE AGRONOMÍA PARA
OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO**

**ING. RICARDO PEÑA CASTILLO M.Sc.
ASESOR**

**Blgo. PABLO C. SALAZAR ZARZOSA M. Sc.
CO - ASESOR**

**Br. MARCO ANTONIO BALCAZAR HUAMAN
TESISTA**

**PIURA – PERÚ
2017**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE MORFOFISIOLOGIA VEGETAL



**“VARIABILIDAD DE RASGOS FUNCIONALES DE 7
POBLACIONES DE ALGARROBO (*Prosopis pallida* H.B.K)
BAJO CONDICIONES CONTROLADAS”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO

BR. MARCO ANTONIO BALCAZAR HUAMAN

APROBADO POR:



ING. CÉSAR A. MORY SAAVEDRA M.Sc.
PRESIDENTE



ING. DAVID F. SAAVEDRA CHUMACERO
VOCAL



ING. CARLOS E. SAN MARTÍN ZAPATA
SECRETARIO

**PIURA – PERÚ
2017**

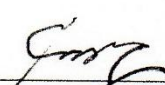



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
039-2017-CIAFA-UNP

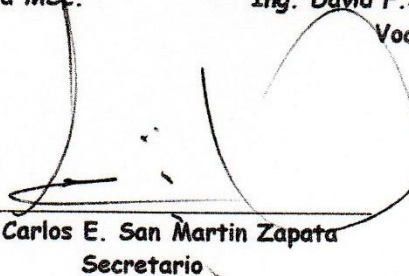
Los miembros del jurado calificador que suscriben, congregados para estudiar el Trabajo de Tesis denominado "VARIABILIDAD DE RASGOS FUNCIONALES DE 7 POBLACIONES DE ALGARROBO (*Prosopis palida* H.B.K) BAJO CONDICIONES CONTROLADAS", conducido por el BR. MARCO ANTONIO BALCAZAR HUAMAN, asesorado por el Ing. Ricardo Peña Castillo MSc. y Co - asesora por el Biólogo Pablo C. Salazar Zarzosa MSc.

Luego de oídas las observaciones y respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran APROBADO, en consecuencia queda en condiciones de ser calificado APTO para gestionar ante el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo de conformidad con lo estipulado en el artículo N° 171, inciso 2° del Estatuto General de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 14 de Julio del 2017.


Ing. Cesar A. Mory Saavedra MSc.
Presidente


Ing. David F. Saavedra Chumacero
Vocal


Ing. Carlos E. San Martin Zapata
Secretario

DEDICATORIA

A mis queridos padres BERTHA Y MARCO; por el esfuerzo y estímulo que dieron en mí para culminar con éxito mis estudios profesionales.

A mis hermanos; con gratitud por su constante apoyo moral, contribuyendo así al éxito de mi carrera profesional.

AGRADECIMIENTO

Al Biólogo Dr. Pablo Salazar Zarzosa; por sus acertadas correcciones, por brindar su significativa colaboración en el análisis estadístico, por sus valiosas recomendaciones científicas y cuyo apoyo ha hecho posible la redacción y culminación de esta tesis.

Al Dr. Gastón Cruz y a la Dra. Nora Grados; por el apoyo y las facilidades que en todo momento me brindaron en el Departamento de Química - Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura (UDEP) para la realización de la presente tesis.

Al Ing. Agr. M. Sc. Ricardo Peña Castillo; por su gran colaboración y sus valiosas sugerencias que hicieron posible la exitosa culminación del trabajo de tesis.

A la Universidad de Piura (UDEP), Universidad de Córdoba – España (UCO) y al Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y la Productividad (INNOVATE PERÚ); por el financiamiento y publicación del presente trabajo de investigación mediante el proyecto “Rasgos Funcionales de las Poblaciones Locales de Algarrobo (*Prosopis pallida* H.B.K.) y su Influencia sobre los Servicios Ecosistémicos en las Principales Comunidades Rurales del Norte de Perú”.

A todas aquellas personas y amigos que siguieron con interés y que de una u otra forma colaboraron en el desarrollo de la investigación.

RESUMEN

El bosque seco de Piura es una zona árida muy importante del Perú, su ecosistema frágil lo hace vulnerable a cambios ambientales y antropogénicos. La especie más representativa de este bosque es el algarrobo (*Prosopis pallida* H.B.K.). Es muy importante conocer la funcionalidad del algarrobo y cuan variables pueden ser las poblaciones de la región para poder tener un mejor aprovechamiento de sus recursos, dado que es una especie multipropósito. Mediante el estudio de rasgos funcionales en algarrobo, se estudió la variabilidad de 7 poblaciones de algarrobo de la región de Piura frente a cambios en la disponibilidad hídrica en condiciones de invernadero. En el presente trabajo de investigación se demostró que la disponibilidad de agua tiene repercusión sobre la funcionalidad de las características fisiológicas. También se demostró que la disponibilidad de agua provoca cambios en la producción de biomasa, mas no en el intercambio gaseoso. Las plantas provenientes de los bosques de Ignacio Távara y Locuto tuvieron la mayor producción de biomasa. Mientras que las provenientes del bosque de Ñapique y Rio Seco presentaron la menor plasticidad y mayor plasticidad a la disponibilidad de agua, respectivamente. Las poblaciones, al ser diferentes, tuvieron diferente distribución del recurso hídrico; cambiando la locación de biomasa para favorecer la producción de raíces en condiciones de baja disponibilidad hídrica. Esto indica que los programas forestales y estrategias de conservación genética deberían enfocarse en poblaciones específicas según el objetivo de cada iniciativa para hacer un mejor uso de los recursos.

Palabras claves: antropogénicos, Algarrobo, ecosistema

ABSTRACT

The dry forest of Piura is one the most important arid ecosystems of Peru. Its vulnerability to environmental and anthropogenic changes makes it quite fragile. The algarrobo (*Prosopis pallida* H.B.K.) is the most representative species of this ecosystem. Thus, understanding its functionality, and how much population's variability exists in the region, is important to make the most of its resources. We use functional traits to study the variability of 7 algarrobo populations in the Piura region under two water levels. Our results showed that water availability has a significant effect on plant physiology. A significant increase in total plant biomass was found under high water availability; however no change in gas exchange was noticeable. Plants from Ignacio Távara and Locuto forests had the highest total plant biomass. While plants Ñapique and Rio Seco forests showed the highest and lowest plasticity to water availability, respectively. Differences among populations had a significant change in water regulation, shifting biomass allocation to increase root development under low water availability. This suggests that forest management programs and genetic conservation strategies should be focus in different locations according the purpose the initiative to improve resource consumption.

Keywords: anthropogenic, algarrobo, ecosystem

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	01
1.1. OBJETIVOS.	
1.1.1. Objetivo General.	04
1.1.2. Objetivos Específicos.	04
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	
2.1. ANTECEDENTES.	05
2.2. REVISIÓN DE LITERATURA.	
2.2.1. Clasificación Taxonómica del Algarrobo.	08
2.2.2. Características Morfológicas del Algarrobo.	08
2.2.3. Características Edafoclimáticas del Algarrobo.	09
2.2.4. Características Fisiológicas del Algarrobo.	10
CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS.	
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN.	11
3.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.	11
3.3. DURACIÓN DEL EXPERIMENTO.	11
3.4. MATERIALES Y EQUIPOS.	11
3.5. METODOLOGÍA.	12
3.6. TIPO DE INVESTIGACIÓN.	17
3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL.	17
3.8. ANÁLISIS FISIOLÓGICOS.	
3.8.1. Medición de la fotosíntesis.	19
3.8.2. Medición del potencial hídrico.	21
3.8.3. Producción de biomasa.	24
3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	26

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1.	VARIABILIDAD DE RASGOS FUNCIONALES BAJO CONDICIONES CONTROLADAS EN LAS DIFERENTES POBLACIONES DE ALGARROBO.	
4.1.1.	Región Piura.	27
4.1.2.	Ignacio Távara.	29
4.1.3.	Ñapique Seco.	30
4.1.4.	Ñapique Húmedo.	32
4.1.5.	La Rinconada (Paita).	34
4.1.6.	Rio Seco (Morropón).	36
4.1.7.	Locuto.	37
4.1.8.	Piura (UDEP: Universidad de Piura).	39
4.2.	DIFERENCIAS INTERPOBLACIONALES EN RASGOS FUNCIONALES EN ALGARROBO.	41
4.3.	EFFECTO DEL RIEGO A NIVEL INTRA E INTERPOBLACIONAL EN RASGOS FUNCIONALES EN LAS DIFERENTES POBLACIONES DE ALGARROBO.	45
4.4.	DISCUSIÓN.	47

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES.	52
----------------------------------	-----------

CAPÍTULO 6: RECOMENDACIONES.	53
-------------------------------------	-----------

CAPÍTULO 7: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	54
------------------------------------------------	-----------

ANEXO	57
--------------	-----------

ÍNDICE DE CUADROS

N°		Pág.
3.1.	Datos meteorológicos de las zonas de muestreo.	12
3.2.	Datos geográficos de las zonas de muestreo.	14
3.3.	Características edafológicas del suelo del bosque seco (UDEP).	16
3.4.	Composición de nutrientes del fertilizante Plantacote Pluss - SQM Vitas.	16
4.1.	Rasgos funcionales de algarrobo provenientes de las siete zonas estudiadas.	27
4.2.	Rasgos funcionales de algarrobo provenientes de la zona de Ignacio Távara.	29
4.3.	Rasgos funcionales de algarrobo provenientes de la zona de Ñapique Seco.	31
4.4.	Rasgos funcionales de algarrobo provenientes de la zona de Ñapique H.	33
4.5.	Rasgos funcionales de algarrobo provenientes de la zona de La Rinconada.	34
4.6.	Rasgos funcionales de algarrobo provenientes de la zona de Rio Seco (M).	36
4.7.	Rasgos funcionales de algarrobo provenientes de la zona de Locuto.	38
4.8.	Rasgos funcionales de algarrobo provenientes de la zona de Piura (UDEP).	39
4.9.	Diferencias interpoblacionales en rasgos funcionales.	41
4.10.	Análisis post-hoc del ANOVA según sus diferencias poblacionales (Duncan).	43

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Pág.
3.1. Zonas de muestreo de la Región Piura en códigos, con sus respectivas precipitaciones anuales en mm y sus respectivas temperaturas anuales en °C.	13
3.2. Preparación de los maceteros con el sustrato.	15
3.3. Disposición final de las plantas en el invernadero.	18
3.4. Plantas de algarrobo con una edad aproximada de 3 meses.	18
3.5. Medición de la fotosíntesis con el analizador de gases infrarrojo.	20
3.6. Medición de la fotosíntesis con el analizador de gases infrarrojo.	20
3.7. Colocación de la hoja en la cámara scholander.	22
3.8. Visualización del peciolo con la lupa entomológica.	22
3.9. Visualización del peciolo con la lupa entomológica.	23
3.10. Medición del potencial hídrico con la cámara scholander.	23
3.11. Inicio del proceso de separación de las plantas en 3 partes.	25
3.12. Determinación de los pesos secos con la balanza digital.	25
4.1. Efecto del riego a nivel intra e interpoblacional.	46

ÍNDICE DE ANEXOS

N°		Pág.
01.	Croquis del campo experimental.	58
02.	Promedios por tratamiento.	59
03.	Figuras.	60

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El bosque seco de Piura es una de las zonas áridas más importantes del Perú porque cuenta con el 72% de bosques secos a nivel nacional (Bravo, Rodriguez, & De los eros, 2003). A pesar de ser considerado un ecosistema frágil, tiene un gran valor debido a su potencial económico, ecológico, paisajístico, social y a la repercusión de sus servicios ambientales.

Este bosque presenta un clima tropical seco con temperaturas aproximadamente entre los 20°C y 30°C. Los periodos de invierno y otoño son muy secos, mientras que en verano presenta lluvias de 50 – 250 mm de diciembre a marzo. La precipitación aumenta en presencia del Fenómeno El Niño hasta 2000 mm, con temperaturas entre los 30°C y 40°C (Rodríguez *et al.*, 2005). Es una ecorregión que se encuentra en el noroccidente del Perú, forma parte de la costa del Pacífico, limita al este con ecosistemas de montaña (Andes), al norte con el bosque seco de Tumbes y al sur con el desierto de Sechura.

La especie más representativa de este bosque es el algarrobo (*Prosopis pallida* H.B.K.). Sin embargo, está siendo amenazado por diversos factores. Uno de ellos es la tala indiscriminada, su madera es muy utilizada para producir carbón vegetal, usado en la elaboración del pollo a la brasa (Orihuela & Albán, 2012). Esto está causando una grave deforestación que lleva a la desertificación del bosque seco tropical. Varias comunidades campesinas de la región Piura están empleando prácticas de manejo forestal sostenible con el fin de evitar la tala indiscriminada y aprovechar los recursos renovables de los bosques de algarrobo. Otro de los factores que amenaza el bosque seco es el cambio en el uso de la tierra, ya sea para zonas urbanas o para agricultura intensiva, sacrificándose

bastante área de bosque seco (Lambin, Geist, & Lepers, 2003). Otra amenaza que está afectando al algarrobo es el cambio climático, presentándose varios síntomas. Uno de ellos es el incremento de la mortalidad de los árboles y aumento de parásitos, cambios fenológicos en la floración y en los frutos, aparición de plagas como Omiodes sp., Synchlora sp. (Gusanos pegadores de hoja), Aphis sp. y Dysdercus sp. (Succionadores de savia); todo esto se da por condiciones extremas como intensas lluvias, sequía total, temperaturas muy altas en verano e inviernos muy fríos (Juárez, Grados, & Cruz, 2016; López Lauenstein, Fernández, & Verga, 2012).

El bosque seco de Piura y todas las especies que se encuentran en él, deben ser cuidados de las amenazas anteriormente nombradas, y el algarrobo, no puede ser la excepción. Su dura madera se usa para hacer muebles y parques, y también es excelente para leña. La corteza sirve para curtir cueros y la resina de su tronco se usa para teñir. Es una especie introducida en muchos ambientes por su acelerado crecimiento, con buena sombra. Las semillas son alimento para el ganado y las flores son atractivas para las abejas. Sobrevive muy bien a la extrema sequedad, debido a sus extremadamente largas raíces.

Los estudios sobre el algarrobo piurano y la información que sobre ello se puede encontrar, es muy escasa, poca investigación básica se realiza en esta especie propia de la región. Se conoce poco sobre la variabilidad de las poblaciones y menos aun de sus características morfológicas y eco-fisiológicas, y su impacto sobre este tipo de ecosistemas.

La presente investigación buscó estudiar a nivel de invernadero, en condiciones controladas, si la variabilidad de rasgos funcionales entre poblaciones repercute sobre la Regulación Hídrica.

1.1. OBJETIVOS.

1.1.1. Objetivo General.

- Determinar la variabilidad de rasgos funcionales de siete poblaciones de algarrobo bajo condiciones controladas en la Región Piura.

1.1.2. Objetivos Específicos.

- Determinar las diferencias interpoblacionales en rasgos funcionales en algarrobo.
- Conocer el efecto del riego a nivel intra e interpoblacional en rasgos funcionales en las diferentes poblaciones de algarrobo.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES.

En el trabajo de investigación titulado “A Monograph of the Genus *Prosopis*” se concluyó que el género *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae) contiene 44 especies que se distribuyen principalmente en las zonas áridas y semiáridas del SE de Asia, África y, predominantemente en América (Burkart, 1976). En cambio, Pasiecznik, N.M. *et al.* (2001) concluyo en su trabajo de investigación “The *Prosopis juliflora* – *Prosopis pallida* Complex: A Monograph” que cuarenta de las 44 especies que componen este género pertenecen a tres de las cinco secciones propuestas por Burkart (1976) (*Algarobia*, *Strombocarpa* y *Monilicarpa*) que habitan en ecosistemas secos desde el SO de América del Norte hasta Chile. Este género se encuentra de forma dominante en los bosques secos de la costa norte del Perú, aunque se considera que su densidad ha disminuido notablemente. En la región norte del Perú, es considerado como una especie multipropósito por los servicios ecosistémicos que proporciona para las comunidades rurales en forma de miel, frutos y leña (Bravo *et al.*, 2003).

Vásquez, L. *et al.* (2010), en su trabajo de investigación titulado “Los Algarrobos del Perú” concluyo que el algarrobo (*Prosopis* sp.) es una especie arbórea, perteneciente a la familia de las fabáceas, una de las familias de especies vegetales más numerosa e importante del mundo. En la región de Piura, es reconocido como un árbol frondoso de 5 a 20 metros de alto, tronco de 0.20 a 2 metros de diámetro y de color negro en su estado adulto, retorcido, nudoso y agrietado. En cambio, (Galera, 2000) concluyó en el trabajo de investigación “Las Especies del Genero *Prosopis* (Algarrobos) de América Latina con

Especial Énfasis en Aquellas de Interés Económico” que el Algarrobo presenta espinas divaricadas, una sola en cada nudo, de 1 a 4 cm de longitud. Las hojas son bipinnadas y alternas, en su mayoría cuando son jóvenes. Además presentan 2 a 3 pares de pinnas, de 2 a 6 cm de longitud, los folíolos opuestos a lo largo de un raquis, en número de 11 a 14 pares, distanciados 2 a 3 mm, entre cada par. Los folíolos son lineales, obtusos, mucronados, regularmente pubescentes, de 8 mm de longitud por 1 a 3 mm de ancho.

En su trabajo de investigación titulado “Foliar Tissue and Water Parameters of *Prosopis tamarugo* Phil” , (Acevedo, Sotomayor, Zenteno, & others, 1985) concluyeron que el Algarrobo presenta muchos mecanismos de adaptación a condiciones secas, algunas de estas características de adaptación incluyen la capacidad de ajustes osmóticos, así como la presencia de raíces profundas. Por otro lado, (Nilsen, Rundel, & Sharifi, 1981) concluyeron en su trabajo de investigación “Summer Water Relations of the Desert Phreatophyte *Prosopis glandulosa* in the Sonoran Desert of Southern California” que la pérdida del follaje es una de las principales adaptaciones fisiológicas de las plantas del Bosque Seco al déficit de agua, existiendo también adaptaciones estructurales generalizadas entre las plantas como son la presencia de hojas compuestas, folíolos pequeños, y presencia de espinas. En sus trabajos, (El-Keblawy & Ksiksi, 2005; Tomar, Minhas, Sharma, Singh, & Gupta, 2003) de investigación titulados “Performance of 31 Tree Species and Soil Conditions in a Plantation Established with Saline Irrigation” y “Artificial Forests as Conservation Sites for the Native Flora of the UAE”, respectivamente, concluyeron que la capacidad de adaptación al Algarrobo le permite sobrevivir en condiciones ambientales extremas tales como altos niveles de pH (10,5), salinidad (18000 mg NaCl/l), conductancia eléctrica (8,5-10 dS/m) y déficit hídrico (100 mm de lluvia anual). En cambio, (Delatorre, Pinto, & Cardemil, 2008; Lehner, Lutz, Delatorre, & Cardemil, 2001) concluyeron en sus trabajos de investigación “Field Studies on the Photosynthesis of Two

Desert Chilean Plants: Prosopis chilensis and Prosopis tamarugo” y “Effects of Water Stress and High Temperature on Photosynthetic Rates of Two Species of Prosopis”, respectivamente, que el Algarrobo es capaz de sobrevivir a altas temperaturas (40 °C) y estrés hídrico (-2.5 MPa), y que a pesar de esto mantiene su actividad fotosintética.

Moles, A. T. *et al.* (2014) y Sales – Come, R. & Holscher, D. (2010) en sus trabajos de investigación titulados “Which is a Better Predictor of Plant Traits: Temperature or Precipitation?” y “Variability and Grouping of Leaf Traits in Multispecies Reforestation”, respectivamente, concluyeron que la precipitación, y por tanto la disponibilidad de agua, es considerada una de las variables más importantes que condicionan la funcionalidad de las plantas, afectando el potencial osmótico, la tasa de crecimiento relativo, y la tasa fotosintética. Diferentes estudios han tratado de determinar el efecto de la disponibilidad del agua sobre el algarrobo; se conoce, por ejemplo, que el efecto de la precipitación es aun más intenso durante la germinación y el establecimiento de la plántula. Sin embargo, estos estudios se han centrado en otras especies del género Prosopis sp., y no en Prosopis pallida. Datos de campo tomados en diferentes poblaciones de algarrobo de la región de Piura han demostrado que la respuesta fisiológica de cada población es diferente. Sin embargo, no es posible establecer si estas diferencias se deben a factores ambientales o a características intrínsecas de cada población.

2.2. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.2.1. Clasificación Taxonómica del Algarrobo.

Zúñiga, F. (1986); clasifica taxonómicamente al algarrobo de la siguiente manera:

Reino	:	<i>Plantae.</i>
División	:	<i>Fanerógama Magnoliophyta.</i>
Clase	:	<i>Dicotiledónea Magnoliopsida.</i>
Orden	:	<i>Fabales.</i>
Familia	:	<i>Fabaceae.</i>
Subfamilia	:	<i>Mimosoideae.</i>
Tribu	:	<i>Mimoseae.</i>
Género	:	<i>Prosopis.</i>
Especie	:	<i>P. pallida.</i>

(HUMB. & BONPL. EX WILLD.) KUNTH.

2.2.2. Características Morfológicas del Algarrobo.

Vásquez, L.; Ecurra, J. & Huamán, A. (2010): El algarrobo (*Prosopis pallida* H.B.K.) es una especie arbórea. En la región de Piura, es reconocido como un árbol frondoso de 5 a 20 metros de alto, tronco de 0.20 a 2 metros de diámetro y de color negro en su estado adulto, retorcido, nudoso y agrietado.

Galera, F. (2000): El algarrobo presenta espinas divaricadas, una sola en cada nudo, de 1 a 4 cm de longitud. Las hojas son bipinnadas y alternas, en su mayoría cuando son jóvenes. Además presentan 2 a 3 pares de pinnas, de 2 a 6 cm de longitud, los

folíolos opuestos a lo largo de un raquis, en número de 11 a 14 pares, distanciados 2 a 3 mm, entre cada par. Los folíolos son lineales, obtusos, mucronados, regularmente pubescentes, de 8 mm de longitud por 1 a 3 mm de ancho.

2.2.3. Características Edafoclimáticas del Algarrobo.

Acevedo, E.; Sotomayor, D. (1985): El algarrobo presenta muchos mecanismos de adaptación a condiciones secas, algunas de estas características de adaptación incluyen la capacidad de ajustes osmóticos, así como la presencia de raíces profundas.

Tomar *et al.* (2003), El Keblawy & Ksiksi (2005): La capacidad de adaptación del algarrobo le permite sobrevivir en condiciones ambientales extremas tales como altos niveles de pH (10.5), salinidad (18 000 mg NaCl/l), conductancia eléctrica (8,5 - 10 dS/m) y déficit hídrico (100 mm de lluvia anual).

Lehner *et al.* (2001), Delatorre *et al.* (2008): El algarrobo se adapta a altas temperaturas (40°C) y estrés hídrico (-2.5 MPa), y es capaz de mantener su actividad fotosintética.

Moles *et al.* (2014), Sales – Come & Holscher (2010): La precipitación, y por tanto la disponibilidad de agua, es considerada una de las variables más importantes que condicionan la funcionalidad de las plantas.

2.2.4. Características Fisiológicas del Algarrobo.

Nilsen, E.T. & Rundel, P.W. (1981): La pérdida del follaje es una de las principales adaptaciones fisiológicas de las plantas del Bosque Seco al déficit de agua, existiendo también adaptaciones estructurales generalizadas entre las plantas como son la presencia de hojas compuestas, folíolos pequeños, y presencia de espinas.

Figuerola *et al.* (2010): La precipitación y la disponibilidad de agua afecta el potencial osmótico, la tasa de crecimiento relativo, y la tasa fotosintética.

CAPÍTULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN.

Región : Piura.

Provincia : Piura.

Distrito : Piura.

Localidad : Campus Universitario de la Universidad de Piura (UDEP).

3.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.

Latitud sur : 05°09'57".

Latitud este : 54°04'06".

Altitud : 45 m.s.n.m.

3.3. DURACIÓN DEL EXPERIMENTO.

Fecha de Inicio : Septiembre del 2015.

Fecha de Término : Marzo del 2016.

3.4. MATERIALES Y EQUIPOS.

- Analizador de Gases Infrarrojo (IRGA) CID Bio - Science CI - 340.
- Cámara Scholander PMS Instrument Company Model 600.
- Lupa Entomológica y Tijera de Podar.
- 112 Maceteros hechos con tubos y tapas de PVC.
- Fertilizante Plantacote Pluss – SQM Vitas.
- Estufa Memmert.
- Balanza de Precisión Sartorius BH - 300.

3.5. METODOLOGÍA.

Para obtener la mayor variabilidad fisiológica en algarrobo, se tomaron muestras de semillas provenientes de zonas de bosques de la Región Piura con diferentes características fisiológicas, edáficas y ecológicas. (Figura 3.1). Posteriormente, se separaron las semillas de las vainas y se almacenaron en tubitos de plástico indicando sus respectivas zonas. En los Cuadros 3.1 y 3.2 se muestran las zonas seleccionadas y sus características.

Cuadro 3.1. Datos meteorológicos de las zonas de muestreo.

Zona de Estudio	Código de Zona	Precipitación Anual	Temperatura
		(mm)	Anual (°C)
Ñapique Húmedo	ÑH	81	23.7
Ñapique Seco	ÑS	81	23.7
UDEP (Piura)	UD	48	23.9
Locuto	LO	157	24.3
Rinconada (Paita)	RI	52	23.4
Ignacio Távara	IT	208	24.8
Rio Seco (Morropón)	RS	354	23.2

Fuente: Worldclim.

Con las semillas recolectadas, se procedió a la preparación de las macetas. Se utilizaron 112 tubos PVC de 10 cm de diámetro y 50 cm de altura; también se utilizaron 112 tapas de plástico PVC para los respectivos tubos (macetas), las cuales cumplieron el papel de base o fondo para estos. Con las macetas preparadas, se procedió a la preparación del suelo o sustrato, el cual se extrajo de la capa superficial del bosque seco de la Universidad de Piura (UDEP).

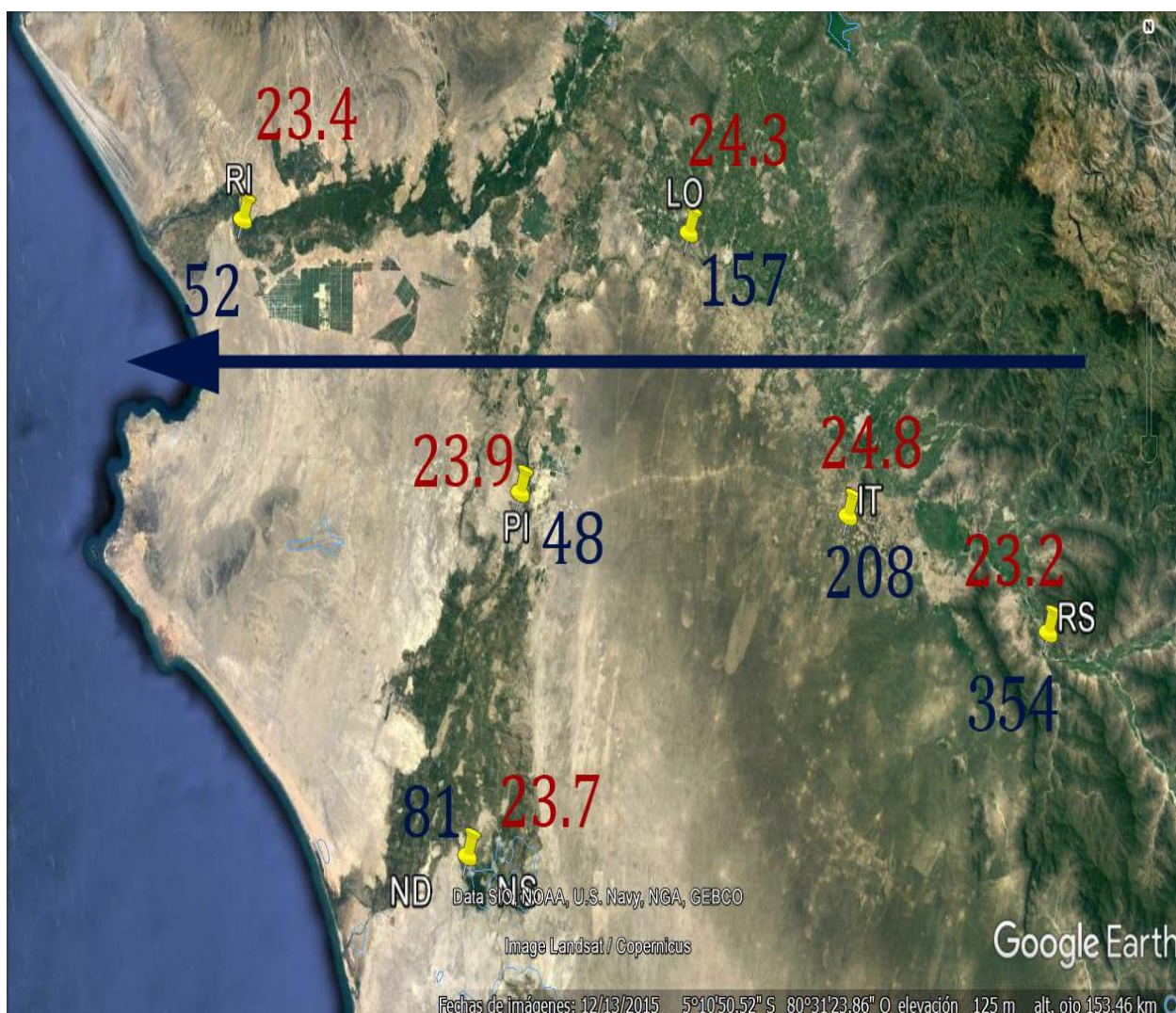


Figura 3.1. Zonas de muestreo de la Región Piura en códigos (PI=UD: UDEP, LO: Locuto, RI: Rinconada, RS: Rio Seco, ÑS: Ñapique Seco, ND=ÑH: Ñapique Húmedo e IT: Ignacio Távara), con sus respectivas precipitaciones anuales en mm (azul) y sus respectivas temperaturas anuales en °C (rojo).

Cuadro 3.2. Datos geográficos de las zonas de muestreo.

Zona de Estudio	Altitud (msnm)	Tipo de Bosque	EO	NS
Ñapique Húmedo	15	Bosque Seco denso de Colina	17 M 560606.73	9405427.77
Ñapique Seco	15	Bosque Seco denso de Colina	17 M 560606.73	9405427.77
UDEP (Piura)	45	Área Urbana	17 M 532471.98	9433785.78
Locuto	77	Bosque Seco semi denso de Llanura	17 M 584564.32	9422283.39
Rinconada (Paíta)	39	Algarrobal Ribereño	17 M 513373.84	9457293.18
Ignacio Távara	136	Bosque Seco semi denso de Llanura	17 M 596277.12	9434052.87
Rio Seco (Morropón)	140	Bosque Seco ralo de Llanura	17 M 621417.51	9414217.46

Fuente: INRENA.

Posteriormente, el suelo se tamizó con un tamiz de 2 mm para separar los restos de materia orgánica seca; previamente, se han analizado sus características edafológicas, las cuales se muestran en el Cuadro 3.3. Debido al bajo contenido de nutrientes agregamos fertilizante de liberación lenta (Plantacote Pluss – SQM Vitas). A cada maceta se le agrego 5.5 Kg de suelo con 15 g de fertilizante. Las características nutricionales del fertilizante se muestran en el Cuadro 3.4. Para la siembra de las semillas, estas se escarificaron con ácido sulfúrico por un periodo de 10 segundos.



Figura 3.2. Preparación de los maceteros con el sustrato.

Cuadro 3.3. Características edafológicas del suelo del bosque seco (UDEP).

Característica	Media y Error		Característica	Media y Error	
	Estándar			Estándar	
% Arcilla	1,95±0,39		Capacidad de campo	22%	
% Limo	2,48±0,51		Tipo de suelo	Arenoso	
% Arena	95,57±0,58		pH	6,69±0,04	
C (mg/kg suelo)	11,435±2,497		Mg (mg/kg suelo)	176,195±19,273	
N (mg/kg suelo)	1,188±0,237		Fe (mg/kg suelo)	4,427±0,548	
P (mg/kg suelo)	23,269±2,817		Mn (mg/kg suelo)	8,744±0,959	
K (mg/kg suelo)	449,328±39,221		Cu (mg/kg suelo)	0,47±0,04	
Ca (mg/kg suelo)	3202,34±294,32		Zn (mg/kg suelo)	2,45±0,42	

Datos obtenidos en el laboratorio de suelos de la Universidad de Córdoba – España (UCO).

Cuadro 3.4. Composición de nutrientes del fertilizante Plantacote Pluss-SQM Vitas.

Nutriente	%w/w	Dosis/Maceta (g)
Nitrógeno total	14%	2.1
Nitrógeno Nítrico	6.30%	0.945
Nitrógeno Amoniacal	7.70%	1.155
Anhídrido Fosfórico	9%	1.35
Oxido de Potasio	15%	2.25
Oxido de Magnesio	2%	0.3
Azufre Soluble en Agua	4%	0.6
Boro	0.03%	0.0045
Cobre	0.02%	0.003
Fierro	0.40%	0.06
Manganeso	0.10%	0.015
Molibdeno	0.02%	0.003
Zinc	0.05%	0.0075

Ficha técnica de SQM Vitas.

3.6. TIPO DE INVESTIGACION.

De Acuerdo al Objetivo que Persigue: Básica.

De Acuerdo a la Técnica de Contrastación que Utiliza: Descriptiva, Explicativa.

3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL.

Las macetas se dispusieron en el invernadero siguiendo un diseño en bloques al azar de 2 factores, el factor localidad (7 niveles) y el factor riego (2 niveles), con 8 repeticiones por tratamiento. Los niveles de la variable independiente zona de estudio (localidad) correspondieron a las 7 zonas de muestreo (UD: UDEP, LO: Locuto, RI: Rinconada, RS: Rio Seco, ÑS: Ñapique Seco, ÑH: Ñapique Húmedo e IT: Ignacio Távara) y los 2 niveles de la variable independiente riego correspondieron al 40% (480mL) y al 80% (960mL) de la capacidad de campo (c.c.) del suelo. La disposición final de las macetas en el invernadero se muestra en el Anexo N° 01.

Las variables dependientes del estudio fueron variables de intercambio gaseoso (fotosíntesis, transpiración y conductancia estomática), variables hídricas (potencial hídrico y contenido de agua en tejidos), producción de biomasa (peso en fresco y seco de la planta).



Figura 3.3. Disposición final de las plantas en el invernadero.



Figura 3.4. Plantas de algarrobo con una edad aproximada de 3 meses.

3.8. ANÁLISIS FISIOLÓGICOS.

3.8.1. Medición de la fotosíntesis.

Las mediciones se hicieron entre las 10:00a.m. – 1:00p.m., utilizando un Analizador de Gases Infrarrojo (IRGA), cuando las plantas tenían una edad aproximada de 3 meses. Se procedió a medir la tasa fotosintética, la transpiración y la conductancia estomática en las 112 plantas de algarrobo, tomando 5 datos por planta. Se seleccionó la 5^{ta} hoja (de abajo hacia arriba) de cada una de estas, las cuales estuvieron totalmente maduras, desarrolladas y extendidas; y en buen estado fitosanitario. Además de las medidas de intercambio gaseoso, se midió la temperatura y la radiación solar (PAR) en cada hoja. Terminada la medida, las hojas se llevaron al laboratorio para ser escaneadas, determinar su área, y luego ser pesadas en fresco en una balanza digital de alta precisión, anotando las medidas respectivas. Posteriormente, las hojas fueron colocadas en sobres manila chicos y se llevaron a la estufa por 24 horas a 60°C. Al día siguiente, se colocaron los sobres en el desecador por 30 minutos antes de ser pesadas en la balanza digital de alta precisión, anotando los pesos secos.

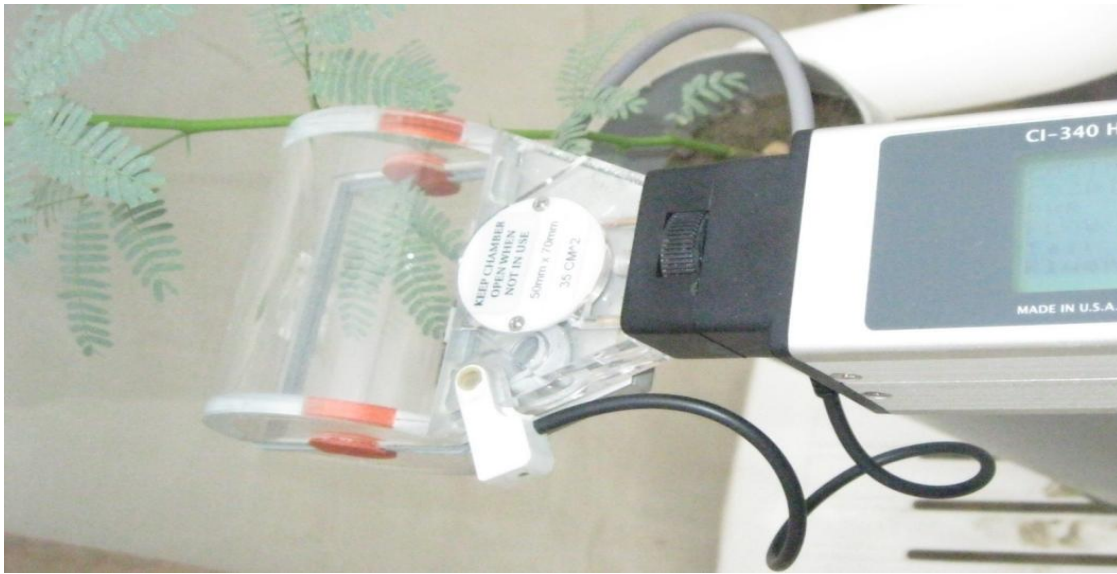


Figura 3.5. Medición de la fotosíntesis con el analizador de gases infrarrojo.



Figura 3.6. Medición de la fotosíntesis con el analizador de gases infrarrojo.

3.8.2. Medición del potencial hídrico.

Concluida la medición de la fotosíntesis en las 112 plantas de algarrobo, se procedió con la medición del potencial hídrico. Las mediciones se hicieron entre las 12:30p.m. - 2:30p.m., utilizando una Cámara Scholander, cuando las plantas tenían una edad aproximada de 3 meses. Se seleccionó la 6^{ta} hoja (de abajo hacia arriba) de cada una de estas, las cuales estuvieron totalmente maduras, desarrolladas y extendidas; y en buen estado fitosanitario. Los datos de potencial hídrico se anotaron en una hoja de registro. Terminada la medida, las muestras de hojas se llevaron al laboratorio, se acondicionaron en bolsas de papel y se llevaron a la estufa por 24 horas a 60°C. Al día siguiente, se colocaron las muestras en el desecador por 30 minutos antes de ser pesadas en la balanza digital de alta precisión, anotando los pesos secos.



Figura 3.7. Colocación de la hoja en la cámara scholander.



Figura 3.8. Visualización del peciolo con la lupa entomológica.



Figura 3.9. Visualización del peciolo con la lupa entomológica.



Figura 3.10. Medición del potencial hídrico con la cámara scholander.

3.8.3. Producción de biomasa.

Concluida la medición del potencial hídrico en las 112 plantas de algarrobo, se procedió con la producción de biomasa. La determinación de biomasa se realizó cuando las plantas tenían una edad aproximada de 3 meses, para ello se separaron las 112 plantas en 3 partes: raíz, tallo (con espinas) y hojas; y se pesaron en fresco. Posteriormente, se separaron las espinas de los tallos y se almacenaron por separado. Se midió el volumen de la madera aplicando el “Principio de Arquímedes”. Después, se dispuso en bolsas de papel todo el material (raíz, tallo, hojas, espinas, madera) por separado y se llevó a la estufa por 24 horas a 60°C.

Además, se procedió a tamizar las muestras de suelo de los 112 maceteros después de haber sido secados al ambiente. El objetivo del tamizado fue separar los restos de raíces de las muestras de suelo. Al tamizar, solo quedaron las raíces con restos de materia orgánica seca (hojarasca, troncos, etc.), las cuales fueron puestas en sobres manila chicos y luego se llevaron al laboratorio. Posteriormente, en el laboratorio, se procedió a separar los restos de raíces de la materia orgánica seca. Las raíces se pusieron nuevamente en sus sobres manila chicos y se secaron en la estufa a 60°C por 24 horas, la materia orgánica seca fue descartada. Al día siguiente, se colocaron las muestras en el desecador por 30 minutos antes de ser pesadas en la balanza digital de alta precisión, anotando los pesos secos.



Figura 3.11. Inicio del proceso de separación de las plantas en 3 partes (raíz, tallo y hojas).



Figura 3.12. Determinación de los pesos secos con la balanza digital.

3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Se utilizó el paquete estadístico Stat Soft - Statistica 8.0 y se hicieron Análisis de Estadística Descriptiva Básica, Análisis de Correlación de Pearson, Análisis de la Varianza (ANOVA) y Análisis de Componentes Principales (PCA).

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1. VARIABILIDAD DE RASGOS FUNCIONALES BAJO CONDICIONES CONTROLADAS EN LAS DIFERENTES POBLACIONES DE ALGARROBO.

4.1.1. Región Piura.

Cuadro 4.1. Rasgos funcionales de algarrobo (*Prosopis pallida* H.B.K.) provenientes de las siete zonas estudiadas – Región Piura - Perú.

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Cuartil 1	Cuartil 3	Varianza	Desviación E.	Coef.Var.
Shoot/Root g/g (PS)	1.34	0.31	3.94	0.85	1.54	0.49	0.70	52.47
Planta Total g (PS)	7.34	0.22	22.14	2.67	12.04	35.68	5.97	81.34
Raíz % (PS)	46	20	77	39	54	0.01	0.11	24.86
Tallo % (PS)	24	10	39	18	29	0.01	0.08	31.47
Hojas % (PS)	30	13	55	26	34	0.01	0.07	22.61
Raíz (Agua%)	41.78	16.61	73.13	36.23	47.94	87.60	9.36	22.40
Tallo (Agua%)	61.78	49.64	68.99	60.12	63.77	10.67	3.27	5.29
Hojas (Agua%)	64.01	56.19	71.77	62.63	65.71	6.66	2.58	4.03
Aarea*umolCO ₂ /cm ² /s	8.85	1.01	18.32	6.59	10.99	11.27	3.36	37.92
E** mmolH ₂ O m ⁻² s ⁻¹	1.83	0.46	4.27	1.38	2.12	0.50	0.71	38.87
gs*** mmolH ₂ O m ⁻² s ⁻¹	68.43	9.14	167.41	47.02	84.61	787.74	28.07	41.02
Pot. Hídrico (ψ) (MPa)	24.78	14.00	40.00	21.00	29.00	20.19	4.49	18.13
I. Defensa Hoja (g.g ⁻¹)	0.02	0.00	0.14	0.01	0.02	0.00	0.02	105.12

Elaboración propia.

*Área: Fotosíntesis; **E: Transpiración; ***gs: Conductancia estomática.

La mayor distribución de biomasa se concentró en la raíz con un 46%, alcanzando valores mínimos de 20% y valores máximos de 77%. A pesar de ello, la desviación estándar es de 11% y el coeficiente de variación es de 24.86%, lo que nos indica que la diferencia entre individuos es estable. El porcentaje de hojas mantiene la desviación

estándar y el coeficiente de variación similares a las de la raíz con 7% y 22.61% respectivamente (Cuadro 4.1).

La producción de biomasa (planta total) fue de 7.3 g y a pesar de ello el coeficiente de variación fue de 81.3%, pudiendo haber diferencias significativas entre individuos debido al factor poblacional y al factor riego. La proporción parte aérea/parte subterránea (shoot/root) fue de 1.3, indicando que en su valor mínimo la parte subterránea fue más grande con 0.3 y en su valor máximo la parte aérea más grande con 3.9.

El mayor porcentaje de agua se concentró en las hojas con un 64%, teniendo como valor mínimo 56.1% y como valor máximo 71.7%, indicando que todos sus valores se aproximan entre sí; su desviación estándar y su coeficiente de variación fueron los más bajos con 2.5% y 4%, respectivamente. A pesar que el porcentaje de agua concentrado en la raíz presenta un 41.7%, siendo el más bajo de todos, presenta un coeficiente de variación muy alto con 22.4%.

Con respecto a la actividad fisiológica, los valores de las variables fisiológicas fueron bajos a comparación de los valores de campo, esto suele ser normal ya que se aislaron factores ambientales como la radiación solar o la precipitación. Sus coeficientes de variación fue de 41 (conductancia estomática), junto con los valores de transpiración y fotosíntesis (38.8 y 37.9, respectivamente).

Con respecto al mecanismo de defensa (I. Defensa Hoja), tuvo un coeficiente de variación de 105.1, lo que nos indica que hubo plantas que invirtieron poca energía y otras invirtieron casi toda su energía en producción de mecanismos de defensa.

4.1.2. Ignacio Távara.

Cuadro 4.2. Rasgos funcionales de algarrobo (*Prosopis pallida* H.B.K.) provenientes de la zona de Ignacio Távara – Región Piura – Perú.

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Cuartil 1	Cuartil 3	Varianza	Desviación E.	Coef.Var.
Shoot/Root g/g (PS)	1.18	0.31	2.64	0.72	1.59	0.37	0.61	51.45
Planta Total g (PS)	9.72	0.56	21.73	3.52	15.36	45.63	6.76	69.52
Raíz % (PS)	49	28	77	39	58	0.02	0.13	26.08
Tallo % (PS)	23	10	35	14	29	0.01	0.08	37.18
Hojas % (PS)	29	13	41	26	32	0.00	0.06	22.35
Raíz (Agua%)	38.49	24.97	52.40	34.04	42.36	56.77	7.54	19.58
Tallo (Agua%)	60.45	56.18	64.39	58.00	62.15	7.09	2.66	4.41
Hojas (Agua%)	64.93	62.01	67.51	64.00	65.97	2.07	1.44	2.22
Aarea*umolCO ₂ /cm ² /s	8.12	1.01	13.81	5.45	10.57	11.33	3.37	41.46
E** mmolH ₂ O m ⁻² s ⁻¹	1.82	0.52	4.12	1.20	2.31	0.82	0.91	49.75
gs*** mmolH ₂ O m ⁻² s ⁻¹	61.75	9.14	95.40	43.48	80.37	634.26	25.18	40.78
Pot. Hídrico (ψ) (MPa)	24.44	18.00	33.00	20.50	28.50	26.66	5.16	21.13
I. Defensa Hoja (g.g ⁻¹)	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	60.65

Elaboración propia.

*Área: Fotosíntesis; **E: Transpiración; ***gs: Conductancia estomática.

La máxima distribución de biomasa se obtuvo en la raíz con un 49%, alcanzando valores mínimos de 28% y valores máximos de 77%. A pesar de esto, tuvo una desviación estándar de 13% y un coeficiente de variación de 26%, siendo estable la diferencia entre individuos. La desviación estándar y el coeficiente de variación de las hojas son similares a la de la raíz con un 6% y un 22.3%. (Cuadro 4.2).

La producción de biomasa fue de 9.7 g, y tuvo un coeficiente de variación de 69.5%, pudiendo existir diferencias significativas entre individuos. La proporción shoot/root fue de 1.1, indicando que la parte subterránea en su valor mínimo fue más grande con 0.3 y la parte aérea en su valor máximo más grande con 2.6.

El porcentaje de agua mayor se encontró en las hojas con un 64.9%, teniendo como valor mínimo 62% y como valor máximo 67.5%, esto nos indica que sus valores están muy aproximados. Su desviación estándar y su coeficiente de variación fueron los más bajos con 1.4 y 2.2, respectivamente. A pesar que el porcentaje de agua en la raíz fue el más bajo con 38.49%, su coeficiente de variación fue el más alto con 19.58%.

En lo que se refiere a la actividad fisiológica, los valores de las variables fisiológicas resultaron bajos comparándolos con los valores de campo, esto es normal porque se aislaron los factores ambientales. Los coeficientes de variación fueron de 49.7 (transpiración), junto con los valores de fotosíntesis y conductancia estomática (41.4 y 40.7, respectivamente).

En lo referente al mecanismo de defensa (I. Defensa Hoja), el cual su coeficiente de variación fue de 60.6, lo cual nos indica que hubo plantas que invirtieron de regular a bastante energía y otras pocas energías en producción de mecanismos de defensa.

4.1.3. Ñapique Seco.

La mayor distribución de biomasa se obtuvo en la raíz con un 41% obteniendo valores mínimos de 20% y valores máximos de 59%. A pesar de ello, tuvo una desviación estándar de 11% y un coeficiente de variación de 27.4%, esto indica que la diferencia entre individuos es estable. El porcentaje de tallo mantiene la desviación estándar y el coeficiente de variación similares a la de la raíz con 7% y 25.82% respectivamente.

La producción de biomasa (planta total) fue de 3.5 g y el coeficiente de variación fue de 35.92%, pudiendo haber diferencias significativas. La proporción parte aérea/parte

subterránea (shoot/root) fue de 1.66, indicando que en su valor mínimo la parte subterránea fue más grande con 0.7 y en su valor máximo la parte aérea más grande con 3.94. (Cuadro 4.3).

Cuadro 4.3. Rasgos funcionales de algarrobo (*Prosopis pallida* H.B.K.) provenientes de la zona de Ñapique Seco – Región Piura - Perú.

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Cuartil 1	Cuartil 3	Varianza	Desviación E.	Coef.Var.
Shoot/Root g/g (PS)	1.66	0.70	3.94	1.02	1.94	0.95	0.97	58.51
Planta Total g (PS)	3.51	1.14	5.90	2.65	4.61	1.59	1.26	35.92
Raíz % (PS)	41	20	59	34	50	0.01	0.11	27.40
Tallo % (PS)	28	17	39	23	34	0.01	0.07	25.82
Hojas % (PS)	31	25	42	27	34	0.00	0.05	17.64
Raíz (Agua%)	44.90	25.35	60.16	39.12	50.32	73.99	8.60	19.16
Tallo (Agua%)	63.28	56.88	68.97	61.80	65.42	9.14	3.02	4.78
Hojas (Agua%)	62.22	58.32	65.95	60.46	63.68	4.92	2.22	3.57
Aarea*umolCO ₂ /cm ² /s	10.82	1.94	16.10	8.75	13.06	13.36	3.66	33.77
E** mmolH ₂ O m ⁻² s ⁻¹	2.07	1.24	3.19	1.61	2.70	0.42	0.65	31.33
gs*** mmolH ₂ O m ⁻² s ⁻¹	87.83	44.47	167.41	59.04	101.82	1089.20	33.00	37.58
Pot. Hídrico (ψ) (MPa)	25.38	20.00	30.00	23.50	28.00	9.58	3.10	12.20
I. Defensa Hoja (g.g ⁻¹)	0.02	0.01	0.06	0.02	0.02	0.00	0.01	55.79

Elaboración propia.

*Aarea: Fotosíntesis; **E: Transpiración; ***gs: Conductancia estomática.

El mayor porcentaje de agua se encontró en el tallo con un 63.28%, con un valor mínimo de 56.88% y un valor máximo de 68.97%, aproximándose todos sus valores entre sí. Su desviación estándar y su coeficiente de variación fueron de 3.02% y 4.78% respectivamente, aproximándose estos valores a los de las hojas. A pesar que el porcentaje de agua concentrado en la raíz es el más bajo con 44.9%, su coeficiente de variación fue el más alto con 19.16%.

Con respecto a la actividad fisiológica, los valores de las variables fisiológicas fueron bajos comparándolos con los valores de campo, es normal porque se aislaron los factores ambientales como radiación solar y precipitación. Sus coeficientes de variación fueron de 37.58 (conductancia estomática), junto con los valores de fotosíntesis y transpiración (33.77 y 31.33, respectivamente).

Con respecto al mecanismo de defensa (I. Defensa Hoja), tuvo un coeficiente de variación de 55.79, lo que nos indica que hubieron plantas q invirtieron poca energía y otras invirtieron bastante energía.

4.1.4. Ñapique Húmedo.

La máxima producción de biomasa se produjo en la raíz con un 43%, alcanzando valores mínimos de 22% y valores máximos de 74%. A pesar de esto, tuvo una desviación estándar de 13% y un coeficiente de variación de 30.89%, siendo estable la diferencia entre individuos. La desviación estándar y el coeficiente de variación del tallo son similares a la de la raíz con 8% y 30.30%, respectivamente. (Cuadro 4.4).

La producción de biomasa fue de 4.73 g y tuvo un coeficiente de variación de 66.79%, pudiendo existir diferencias significativas entre individuos. La proporción shoot/root fue de 1.56, indicando que la parte subterránea en su valor mínimo fue más grande con 0.36 y la parte aérea en su valor máximo más grande con 3.51.

**Cuadro 4.4. Rasgos funcionales de algarrobo (*Prosopis pallida* H.B.K.)
provenientes de la zona de Ñapique Húmedo – Región Piura – Perú.**

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Cuartil 1	Cuartil 3	Varianza	Desviación E.	Coef.Var.
Shoot/Root g/g (PS)	1.56	0.36	3.51	0.93	1.99	0.76	0.87	55.78
Planta Total g (PS)	4.73	0.47	10.44	2.24	7.34	9.97	3.16	66.79
Raíz % (PS)	43	22	74	34	52	0.02	0.13	30.89
Tallo % (PS)	27	13	38	20	35	0.01	0.08	30.30
Hojas % (PS)	30	13	55	25	36	0.01	0.10	32.43
Raíz (Agua%)	42.79	22.79	73.13	37.91	47.66	124.13	11.14	26.04
Tallo (Agua%)	63.60	57.61	68.84	61.30	65.76	9.02	3.00	4.72
Hojas (Agua%)	63.46	58.77	69.04	61.88	64.08	6.28	2.51	3.95
Aarea*umolCO ₂ /cm ² /s	9.67	4.53	17.42	8.13	11.18	9.30	3.05	31.52
E** mmolH ₂ O m ⁻² s ⁻¹	1.81	1.10	2.76	1.50	2.00	0.22	0.46	25.71
gs*** mmolH ₂ O m ⁻² s ⁻¹	79.22	45.64	126.29	68.45	86.56	535.70	23.15	29.22
Pot. Hídrico (ψ) (MPa)	25.31	20.00	30.00	22.50	29.00	13.16	3.63	14.33
I. Defensa Hoja (g.g ⁻¹)	0.02	0.01	0.06	0.01	0.03	0.00	0.02	73.86

Elaboración propia.

*Aarea: Fotosíntesis; **E: Transpiración; ***gs: Conductancia estomática.

El porcentaje de agua mayor se encontró en el tallo con un 63.60%, teniendo como valor mínimo 57.61% y como valor máximo 68.84%, esto nos indica que sus valores están aproximados. Su desviación estándar y su coeficiente de variación fueron de 3% y 4.72%, respectivamente. La raíz presenta los valores más altos de desviación estándar y coeficiente de variación con 11.14% y 26.04%, a pesar que su porcentaje de agua es el más bajo con 42.79%.

En lo que se refiere a la actividad fisiológica, las variables y sus respectivos valores resultaron bajos si se comparan con los valores de campo, esto pasa porque se aislaron los factores ambientales. Los coeficientes de variación fueron de 31.52 (fotosíntesis), junto con los valores de conductancia estomática y transpiración (29.22 y 25.71, respectivamente).

En lo referente al mecanismo de defensa (I. Defensa Hoja), el cual el coeficiente de variación fue de 73.86, lo cual indica que algunas plantas invirtieron poca energía y otras casi todas sus energías.

4.1.5. La Rinconada (Paíta).

Cuadro 4.5. Rasgos funcionales de algarrobo (*Prosopis pallida* H.B.K.) provenientes de la zona de La Rinconada (Paíta) – Región Piura – Perú.

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Cuartil 1	Cuartil 3	Varianza	Desviación E.	Coef.Var.
Shoot/Root g/g (PS)	1.32	0.41	2.41	0.85	1.81	0.39	0.63	47.45
Planta Total g (PS)	8.50	0.71	22.14	2.84	13.63	44.65	6.68	78.65
Raíz % (PS)	46	29	71	36	54	0.02	0.12	26.38
Tallo % (PS)	24	11	38	17	29	0.01	0.08	35.37
Hojas % (PS)	30	18	41	26	35	0.00	0.06	19.20
Raíz (Agua%)	41.14	19.73	53.24	39.26	46.57	67.05	8.19	19.90
Tallo (Agua%)	62.65	59.11	65.14	61.60	63.64	2.73	1.65	2.64
Hojas (Agua%)	64.70	58.16	67.92	63.03	66.72	6.54	2.56	3.95
Aarea*umolCO ₂ /cm ² /s	8.23	3.61	15.56	5.49	9.86	9.47	3.08	37.42
E** mmolH ₂ O m ⁻² s ⁻¹	1.77	0.73	3.85	1.32	2.09	0.50	0.71	39.91
gs*** mmolH ₂ O m ⁻² s ⁻¹	59.95	30.43	117.57	38.99	71.22	643.46	25.37	42.32
Pot. Hídrico (ψ) (MPa)	24.19	17.00	31.00	22.00	26.50	16.16	4.02	16.62
I. Defensa Hoja (g.g ⁻¹)	0.01	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	67.43

Elaboración propia.

*Área: Fotosíntesis; **E: Transpiración; ***gs: Conductancia estomática.

La mayor distribución de biomasa se concentró en la raíz con un 46%, alcanzando valores mínimos de 29% y valores máximos de 71%. A pesar de ello, la desviación estándar es de 12% y el coeficiente de variación es de 26.38%, lo que nos indica que la diferencia entre individuos es estable. A diferencia de los casos anteriores, ni el porcentaje de hojas ni el porcentaje de tallo son similares a la de la raíz con respecto a su

desviación estándar y coeficiente de variación (6%, 19.2% y 8%, 35.37%, respectivamente). (Cuadro 4.5).

La producción de biomasa fue de 8.5 g y a pesar de ello el coeficiente de variación fue de 78.65%, pudiendo haber diferencias significativas entre individuos debido al factor poblacional y al factor riego. La proporción shoot/root fue de 1.32, indicando que en su valor mínimo la parte subterránea fue más grande con 0.41 y en su valor máximo la parte aérea fue más grande con 2.41.

El mayor porcentaje de agua se encontró en las hojas con un 64.7%, teniendo como valor mínimo 58.16% y como valor máximo 67.92%, indicando que todos sus valores se aproximan entre sí. A pesar que el porcentaje de agua en la raíz fue el más bajo con 41.14%, su desviación estándar y su coeficiente de variación fueron los más altos con 8.19% y 19.9%.

Con respecto a la actividad fisiológica, los valores de las variables fisiológicas salieron bajos en comparación con los valores de campo, esto es normal porque se aislaron factores ambientales como precipitación y radiación solar. Los coeficientes de variación fueron de 42.32 (conductancia estomática), junto con los de transpiración y fotosíntesis (39.91 y 37.42, respectivamente).

Con respecto al mecanismo de defensa (I. Defensa Hoja), tuvo un coeficiente de variación de 67.43, lo que nos indica que hubo plantas que invirtieron poca energía y otras bastantes energías en producción de mecanismos de defensa.

4.1.6. Rio Seco (Morropón).

Cuadro 4.6. Rasgos funcionales de algarrobo (*Prosopis pallida* H.B.K.) provenientes de la zona de Rio Seco (Morropón) – Región Piura – Perú.

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Cuartil 1	Cuartil 3	Varianza	Desviación E.	Coef.Var.
Shoot/Root g/g (PS)	1.31	0.56	2.83	1.14	1.48	0.27	0.52	39.45
Planta Total g (PS)	7.38	0.22	15.60	0.43	13.84	42.90	6.55	88.77
Raíz % (PS)	45	26	64	40	47	0.01	0.09	20.00
Tallo % (PS)	22	10	30	19	27	0.00	0.07	29.57
Hojas % (PS)	33	24	51	27	34	0.01	0.07	22.02
Raíz (Agua%)	40.94	16.60	58.44	33.32	48.18	121.76	11.04	26.95
Tallo (Agua%)	61.23	52.75	68.99	59.94	62.91	15.69	3.96	6.47
Hojas (Agua%)	64.12	56.19	71.77	62.41	65.66	10.81	3.29	5.13
Aarea*umolCO ₂ /cm ² /s	8.17	1.48	15.85	5.84	11.16	14.27	3.78	46.24
E** mmolH ₂ O m ⁻² s ⁻¹	1.81	0.46	4.27	1.28	2.23	0.79	0.89	49.12
gs*** mmolH ₂ O m ⁻² s ⁻¹	63.71	12.31	106.74	37.78	95.01	873.26	29.55	46.38
Pot. Hídrico (ψ) (MPa)	23.73	14.00	40.00	20.00	27.00	45.35	6.73	28.38
I. Defensa Hoja (g.g ⁻¹)	0.03	0.00	0.14	0.01	0.03	0.00	0.03	119.93

Elaboración propia.

*Área: Fotosíntesis; **E: Transpiración; ***gs: Conductancia estomática.

La máxima distribución de biomasa se produjo en la raíz con un 45% alcanzando valores mínimos de 26% y valores máximos de 64%. A pesar de esto, tuvo una desviación estándar de 9% y un coeficiente de variación de 20%, siendo estable la diferencia entre individuos. La desviación estándar y el coeficiente de variación de las hojas son similares a la de la raíz con 7% y 22.02%, respectivamente. (Cuadro 4.6).

La producción de biomasa fue de 7.38 g, y tuvo un coeficiente de variación de 88.77%, pudiendo existir diferencias significativas entre individuos. La proporción shoot/root fue de 1.31, indicando que la parte subterránea en su valor mínimo fue más grande con 0.56 y la parte aérea en su valor máximo fue más grande con 2.83.

El porcentaje de agua mayor se encontró en las hojas con un 64.12%, teniendo como valor mínimo 56.19% y como valor máximo 71.77%, esto nos indica que todos sus valores se aproximan. Su desviación estándar y su coeficiente de variación fueron los más bajos con 3.29% y 5.13%, respectivamente. A pesar que el porcentaje de agua concentrado en la raíz fue el más bajo con 40.94%, su desviación estándar y su coeficiente de variación fueron los más altos con 11.04% y 26.95%, respectivamente.

En lo referente a la actividad fisiológica, los valores de las variables fisiológicas resultaron bajos comparándolos con los valores de campo, esto es normal porque se aislaron los factores ambientales. Los coeficientes de variación fueron de 49.12 (transpiración), junto con los de conductancia estomática y fotosíntesis (46.38 y 46.24, respectivamente).

En lo que se refiere al mecanismo de defensa (I. Defensa Hoja), el cual su coeficiente de variación fue de 119.93, que a comparación de los otros casos, es el más alto de todos los valores de I. Defensa Hoja.

4.1.7. Locuto.

La mayor distribución de biomasa se encontró en la raíz con un 51%, alcanzando valores mínimos de 36% y valores máximos de 67%. A pesar de esto, tuvo una desviación estándar de 9% y un coeficiente de variación de 18.03%, siendo estable la diferencia entre individuos. La desviación estándar y el coeficiente de variación de las hojas son similares a la de la raíz con un 5% y un 18.96%, respectivamente. (Cuadro 4.7).

**Cuadro 4.7. Rasgos funcionales de algarrobo (*Prosopis pallida* H.B.K.)
provenientes de la zona de Locuto – Región Piura – Perú.**

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Cuartil 1	Cuartil 3	Varianza	Desviación E.	Coef.Var.
Shoot/Root g/g (PS)	1.04	0.50	1.79	0.76	1.31	0.14	0.37	35.86
Planta Total g (PS)	11.14	1.95	19.95	3.92	17.81	48.84	6.99	62.71
Raíz % (PS)	51	36	67	43	57	0.01	0.09	18.03
Tallo % (PS)	22	14	31	18	25	0.00	0.05	21.99
Hojas % (PS)	28	18	36	24	31	0.00	0.05	18.96
Raíz (Agua%)	40.69	22.48	51.90	37.97	45.40	48.98	7.00	17.20
Tallo (Agua%)	60.08	55.43	63.96	58.80	61.70	5.28	2.30	3.82
Hojas (Agua%)	63.83	60.82	68.88	61.50	65.42	5.20	2.28	3.57
Aarea*umolCO ₂ /cm ² /s	8.28	5.24	12.71	6.94	9.20	4.08	2.02	24.39
E** mmolH ₂ O m ⁻² s ⁻¹	1.66	0.91	3.03	1.30	1.93	0.31	0.55	33.20
gs*** mmolH ₂ O m ⁻² s ⁻¹	59.68	40.88	98.29	47.02	69.62	231.46	15.21	25.49
Pot. Hídrico (ψ) (MPa)	24.75	17.00	30.00	22.50	27.50	14.87	3.86	15.58
I. Defensa Hoja (g.g ⁻¹)	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00	31.44

Elaboración propia.

*Área: Fotosíntesis; **E: Transpiración; ***gs: Conductancia estomática.

La producción de biomasa fue de 11.14 g, y tuvo un coeficiente de variación de 62.71%, pudiendo haber diferencias significativas entre individuos. La proporción shoot/root fue de 1.04, indicando que en su valor mínimo la parte subterránea fue más grande con 0.5 y en su valor máximo la parte aérea fue más grande con 1.79.

El mayor porcentaje de agua se encontró en las hojas con un 63.83%, teniendo como mínimo valor 60.82% y como máximo valor 68.88%, indicando que todos sus valores están muy aproximados. Su desviación estándar y su coeficiente de variación fueron los más bajos con 2.28% y 3.57%, respectivamente. A pesar que el porcentaje de agua concentrado en la raíz fue el más bajo con 40.69%, su desviación estándar y su coeficiente de variación fueron los más altos con 7% y 17.2%, respectivamente.

Con respecto a la actividad fisiológica, los valores de las variables fisiológicas fueron bajos en comparación con los valores de campo, esto suele ser normal ya que se aislaron factores ambientales. Sus coeficientes de variación fueron de 33.2 (transpiración), 25.49 (conductancia estomática) y 24.39 (fotosíntesis).

En lo referente al mecanismo de defensa (I. Defensa Hoja), el cual tuvo un coeficiente de variación de 31.44, lo que nos indica que las plantas invirtieron poca energía en producción de mecanismos de defensa.

4.1.8. Piura (UDEP: Universidad de Piura).

Cuadro 4.8. Rasgos funcionales de algarrobo (*Prosopis pallida* H.B.K.) provenientes de la zona de Piura (UDEP) – Región Piura – Perú.

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Cuartil 1	Cuartil 3	Varianza	Desviación E.	Coef.Var.
Shoot/Root g/g (PS)	1.28	0.64	2.79	0.84	1.37	0.46	0.68	53.06
Planta Total g (PS)	6.44	0.51	16.73	2.98	10.52	24.19	4.92	76.43
Raíz % (PS)	47	26	61	42	55	0.01	0.11	23.07
Tallo % (PS)	21	13	36	16	24	0.00	0.07	31.31
Hojas % (PS)	32	24	53	27	35	0.01	0.07	21.73
Raíz (Agua%)	43.46	25.95	70.44	38.37	49.72	129.45	11.38	26.18
Tallo (Agua%)	61.13	49.64	66.98	58.85	63.96	17.84	4.22	6.91
Hojas (Agua%)	64.85	59.45	68.50	63.34	67.23	7.81	2.80	4.31
Aarea*umolCO ₂ /cm ² /s	8.63	2.89	18.32	5.84	10.25	15.04	3.88	44.94
E** mmolH ₂ O m ⁻² s ⁻¹	1.85	0.96	3.49	1.21	2.52	0.60	0.78	41.99
gs*** mmolH ₂ O m ⁻² s ⁻¹	66.57	24.29	153.59	46.46	74.68	1070.11	32.71	49.14
Pot. Hídrico (ψ) (MPa)	25.63	19.00	36.00	21.50	29.50	22.25	4.72	18.41
I. Defensa Hoja (g.g ⁻¹)	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	62.24

Elaboración propia.

*Área: Fotosíntesis; **E: Transpiración; ***gs: Conductancia estomática.

La distribución de biomasa mayor se encontró en la raíz con 47%, alcanzando valores mínimos de 26% y valores máximos de 61%. A pesar de esto, tuvo una desviación

estándar de 11% y un coeficiente de variación de 23.07%, lo que nos indica que la diferencia entre individuos es estable. La desviación estándar y el coeficiente de variación de las hojas son similares a la de la raíz con 7% y 21.73%, respectivamente. (Cuadro 4.8).

La producción de biomasa fue de 6.44 g y a pesar de esto el coeficiente de variación fue de 76.43%, pudiendo existir diferencias significativas entre individuos por el factor poblacional y el factor riego. La proporción shoot/root fue de 1.28, indicando que la parte subterránea en su valor mínimo fue más grande con 0.64 y la parte aérea en su valor máximo más grande con 2.79.

El mayor porcentaje de agua se encontró en las hojas con un 64.85%, teniendo como valor mínimo 59.45% y como valor máximo 68.5%, lo cual nos indica que sus valores están aproximados. Su desviación estándar y su coeficiente de variación fueron los más bajos con 2.8% y 4.31%, respectivamente. A pesar que el porcentaje de agua en la raíz fue el más bajo con 43.46%, su coeficiente de variación fue el más alto con 26.18%.

En lo que se refiere a la actividad fisiológica, los valores de las variables fisiológicas resultaron bajos en comparación con los valores de campo, esto es normal porque se aislaron factores ambientales. Los coeficientes de variación fueron de 49.14 (conductancia estomática), 44.94 (fotosíntesis) y 41.99 (transpiración).

Con respecto al mecanismo de defensa (I. Defensa Hoja), que tuvo un coeficiente de variación de 62.24, lo que nos indica que hubo plantas que invirtieron poca energía y otras invirtieron bastante energía.

4.2. DIFERENCIAS INTERPOBLACIONALES EN RASGOS FUNCIONALES EN ALGARROBO.

Cuadro 4.9. Diferencias interpoblacionales en rasgos funcionales.

Variable	Zona	Riego	Zona*Riego
Shoot/Root g/g (PS)	N.S.	N.S.	N.S.
Planta Total g (PS)	xxx	xxx	xxx
Raíz% (PS)	N.S.	xxx	N.S.
Tallo% (PS)	xx	xxx	N.S.
Hojas% (PS)	N.S.	N.S.	N.S.
Hojas (agua%)	x	xxx	N.S.
Tallo (agua%)	x	xx	N.S.
Raíz (agua%)	N.S.	N.S.	N.S.
Aarea* $\mu\text{molCO}_2/\text{cm}^2/\text{s}$	N.S.	N.S.	N.S.
E** $\text{mmolH}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$	N.S.	N.S.	N.S.
gs*** $\text{mmolH}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$	x	N.S.	N.S.
Pot. Hídrico (Ψ) (MPa)	N.S.	xxx	N.S.
I. Defensa Hoja ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	xxx	N.S.	N.S.
Elaboración propia.		Significativo: x (0.05-0.01).	
* Área: Fotosíntesis.		Muy Significativo: xx (0.01-0.001).	
** E: Transpiración.		Altamente Significativo: xxx (0.001 o menor).	
***gs: Conductancia estomática.		No Significativo: N.S.	

La disponibilidad de agua (riego) tuvo un efecto significativo sobre la producción de biomasa (planta total), las plantas invirtieron más energía con bastante riego (R1). Al aumentar la disponibilidad hídrica (riego) las plantas produjeron mucho mas biomasa, esto quiere decir que las plantas mientras más agua tengan a su disposición, mas biomasa van a desarrollar. (Cuadro 4.9).

También tuvo un efecto significativo sobre el porcentaje de raíz, con poco riego (R0), las plantas invirtieron mucho más energía en producción de raíces que con bastante riego (R1). El porcentaje de raíz pasó de 42% a 50% al disminuir la disponibilidad hídrica, lo que nos indica que las plantas de algarrobo cuando perciben poca disponibilidad de

agua mandan sus raíces hasta lo más profundo que se pueda para absorber el agua del subsuelo, esto hace que las raíces crezcan y se desarrollen más.

La disponibilidad de agua también tuvo un efecto significativo sobre el porcentaje de tallo, a comparación del porcentaje de raíz, acá fue todo lo contrario, con bastante riego (R1), las plantas invirtieron mucho más energía en producción de tallo que con poco riego (R0). El porcentaje de tallo pasó de 19% a 27% al aumentar la disponibilidad hídrica, esto quiere decir que las plantas de algarrobo necesitan la mayor cantidad de agua posible para desarrollar sus tallos en longitud y en grosor.

La disponibilidad de agua tuvo un efecto significativo sobre el porcentaje de agua en hojas, con bastante riego (R1), fue mayor el porcentaje de agua en hojas que con poco riego (R0). El porcentaje de agua en hojas paso de 63.2% a 64.8% al aumentar la disponibilidad hídrica, esto es lógico, mientras más sea el volumen de riego, mas va a ser el porcentaje de agua en hojas.

También tuvo un efecto significativo sobre el porcentaje de agua en tallo, con bastante riego (R1), fue mayor el porcentaje de agua en tallo que con poco riego (R0). El porcentaje de agua en tallo paso de 61.1% a 62.5% al aumentar la disponibilidad hídrica; al igual que el porcentaje de agua en hojas, mientras más sea el volumen de riego, mas va a ser el porcentaje de agua en tallo.

La disponibilidad de agua también tuvo un efecto significativo sobre el potencial hídrico, con poco riego (R0), este potencial fue mayor que con bastante riego (R1). El potencial hídrico pasó de 22.8 MPa a 26.8 MPa al disminuir la disponibilidad hídrica, lo

que nos indica que mientras menos sea la cantidad de agua mayor será el potencial hídrico.

La interacción zona*riego tan solo tuvo efecto significativo en la producción de biomasa (planta total), desarrollándose mayor cantidad de biomasa en Locuto con mayor disponibilidad de agua (R1), seguido por Ignacio Távara. Todo lo contrario sucedió con menor disponibilidad de agua (R0), Ignacio Távara desarrollo mayor cantidad de biomasa seguido por Locuto, ambos por encima de Ñapique Seco con mayor disponibilidad de agua (R1).

Cuadro 4.10. Análisis post - hoc del ANOVA según sus diferencias poblacionales (Duncan).

Zonas	Planta Total g (PS)	Tallo % (PS)	Hojas (Agua %)	Tallo (Agua%)	gs* mmolH₂O m⁻²s⁻¹	I. DEFENSA Hoja (g.g⁻¹)**
UDEP (UD)	bc	c	abc	b	b	d
Locuto (LO)	a	c	abc	b	b	bc
Rio Seco (RS)	bc	c	abc	b	b	a
Ñapique Húmedo(ÑH)	c	ab	cd	a	ab	ab
Ñapique Seco (ÑS)	c	a	d	ab	a	ab
Rinconada (RI)	ab	bc	abc	ab	b	cd
Ignacio Távara (IT)	a	bc	ab	b	b	d

Elaboración propia.

*gs: Conductancia estomática; **g.g⁻¹: Peso de espigas entre el peso de hojas en gramos.

Un análisis post - hoc nos permitió observar las diferencias estadísticas entre las poblaciones. Letras similares entre poblaciones dentro de un mismo tratamiento indican que no existen diferencias entre ellas. (Cuadro 4.10).

La zona tuvo un efecto significativo sobre la producción de biomasa (planta total), produciéndose la mayor cantidad de biomasa en Locuto, Ignacio Távara y Rinconada con

11.14 g, 9.72 g y 8.5 g, respectivamente. Rio seco y UDEP desarrollaron regular biomasa con 7.38 g y 6.4 g, respectivamente. Seguido de Ñapique Húmedo y Ñapique Seco que tuvieron la más baja producción de biomasa con 4.73 g y 3.51 g, respectivamente.

También tuvo un efecto significativo sobre el peso seco de tallo (tallo%), desarrollándose bastante en Ñapique Seco y Ñapique Húmedo con 28% y 26.8%, respectivamente. En los bosques de Rinconada e Ignacio Távara se desarrolló regular con un 23.4% y un 22.5% respectivamente. Los bosques que tuvieron poco desarrollo fueron Rio Seco, Locuto y UDEP, obteniendo porcentajes de 22.2%, 21.8% y 21.1%, respectivamente.

La zona también tuvo un efecto significativo sobre el porcentaje de agua en hojas, donde los más altos porcentajes se obtuvieron en Ignacio Távara, UDEP, Locuto, Rinconada y Rio seco con 64.9%, 64.8%, 64.7%, 64.6% y 64,1%, respectivamente. Los bosques de Ñapique Húmedo y Ñapique Seco obtuvieron porcentajes de 63.8% y 62.2% respectivamente.

La zona tuvo un efecto significativo sobre el porcentaje de agua en tallo, donde los más altos porcentajes se obtuvieron en Ñapique Húmedo, Ñapique Seco y Rinconada con 63.6%, 63.28% y 62.65%, respectivamente. Los bosques de Rio Seco y UDEP obtuvieron porcentajes de 61.23% y 61.13%, respectivamente. Los bosques de Ignacio Távara y Locuto obtuvieron los porcentajes más bajos con 60.45% y 60.08%, respectivamente.

La zona en tan solo una variable fisiológica tuvo un efecto significativo, en la conductancia estomática (gs), obteniéndose los mayores valores en Ñapique Seco y Ñapique Húmedo, con 87.8 y 79.2 mmol H₂O m⁻²s⁻¹, respectivamente. Los bosques de

UDEP, Rio Seco e Ignacio Távara obtuvieron valores de 66.5, 63.7 y 61.7 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ respectivamente. Los valores más bajos se obtuvieron en los bosques de Rinconada y Locuto con 59.9 y 59.6 mmol H₂O m⁻²s⁻¹, respectivamente.

La zona también tuvo un efecto significativo sobre el mecanismo de defensa (índice de defensa en hoja); donde se obtuvieron los mayores valores en Rio Seco, Ñapique Húmedo y Ñapique Seco con 0.027, 0.023 y 0.019 g.g⁻¹ respectivamente. Los bosques de Locuto y Rinconada obtuvieron valores de 0.013 y 0.010 g.g⁻¹, respectivamente. Los valores más bajos, de 0.008 y 0.006 g.g⁻¹, fueron de Ignacio Távara y UDEP, respectivamente. (g.g⁻¹: peso de espinas entre el peso de hojas en gramos).

4.3. EFECTO DEL RIEGO A NIVEL INTRA E INTERPOBLACIONAL EN RASGOS FUNCIONALES EN LAS DIFERENTES POBLACIONES DE ALGARROBO.

El efecto del riego a nivel intra e interpoblacional fue significativa en algunas poblaciones y en otras no. En poblaciones como Rinconada e Ignacio Távara fue muy notorio el efecto, con poca disponibilidad de agua (R0), cambio la locación de biomasa favoreciendo la producción de raíces y no la producción de hojas y tallo. Ignacio Távara fue la población que tuvo la mayor producción de raíces con poca disponibilidad de agua (R0), seguido de Rinconada, las otras poblaciones tuvieron una producción de raíces equitativa en (R0). Con poca disponibilidad de agua (R0), en estas dos poblaciones la producción de hojas fue mayor que la producción de tallo; en cambio, con bastante disponibilidad de agua (R1), la producción de tallo y hojas fue similar. (Figura 4.1).

En las poblaciones de Ñapique Seco y Ñapique Húmedo el efecto fue relativamente notorio, invirtiendo el recurso hídrico más en producción de raíces, sobre

todo con poca disponibilidad de agua (R0). En la población de Ñapique Húmedo tanto con poca y bastante disponibilidad de agua (R0 y R1) la producción de hojas resulto igual. Con bastante disponibilidad de agua (R1), tanto en Ñapique Húmedo como en Ñapique Seco, la producción de tallo fue mayor. En el tratamiento (R0) en la población de Ñapique Seco la producción de tallo y hojas fue casi igual; en cambio, en la población de Ñapique Húmedo la producción de hojas fue mayor que la producción de raíz.

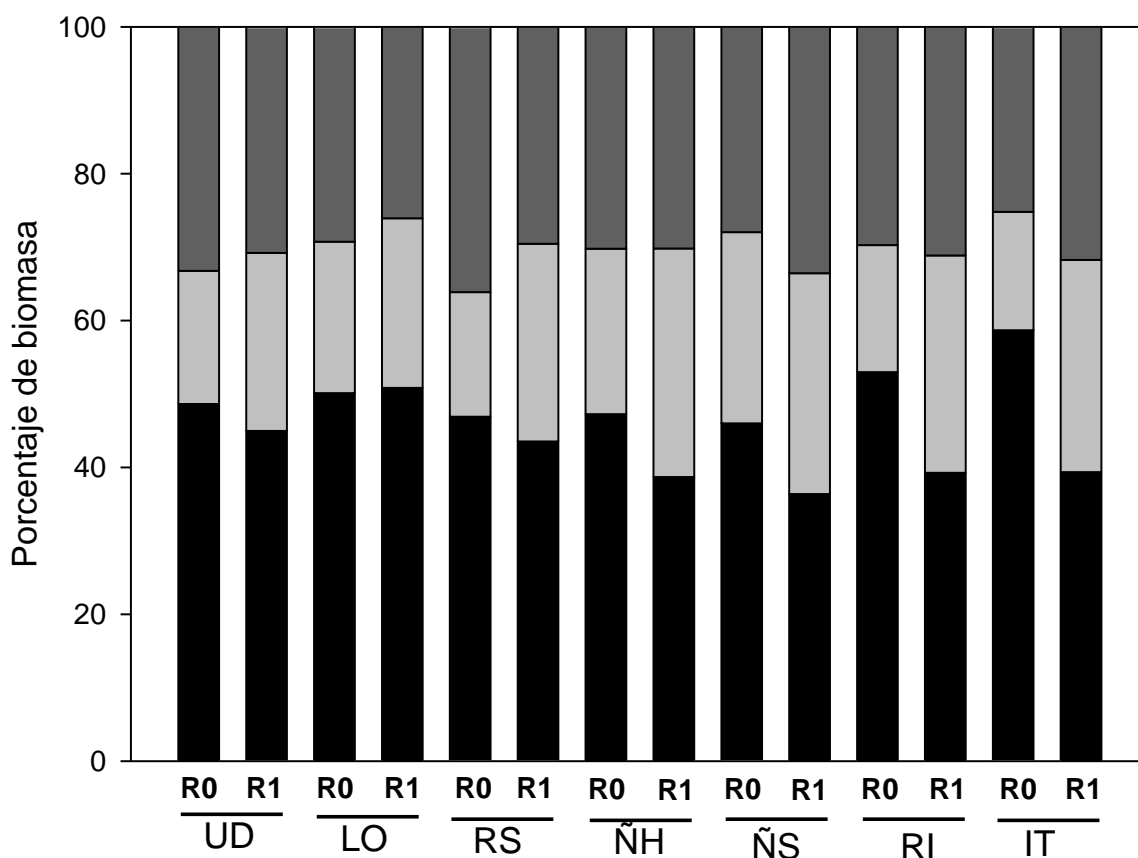


Figura 4.1. Efecto del riego a nivel intra e interpoblacional.

En las poblaciones de UDEP y Rio Seco la producción de biomasa fue muy similar tanto en (R0) como en (R1); en (R0) la mayor producción la vimos en raíces, seguido por

la producción de hojas y posteriormente por la producción de tallo. En cambio, en (R1) la producción de raíces estuvo en primer lugar como en (R0) a diferencia que la producción de tallo y hojas fue casi igual. Rio Seco fue la población que tuvo mayor producción de hojas con poca disponibilidad de agua (R0). En la población de Locuto, la producción de raíces fue casi igual en (R0) y (R1), la producción de hojas fue mayor que la producción de tallo en (R0) y en (R1) la producción de hojas y de tallo fue igual. Locuto fue la población que tuvo la mayor producción de raíces con bastante disponibilidad de agua (R1), seguido de la UDEP. En conclusión, las plantas de algarrobo con poco riego o sequia (R0) invierten mucho mas la cantidad de agua en producción de raíces que en producción de tallo y hojas a excepción de la población de Locuto, que no altera la distribución de su biomasa según la disponibilidad de agua.

4.4. DISCUSIÓN.

Cada una de las poblaciones se comportó diferente estadísticamente o hubo diferencias significativas a pesar de estar bajo un mismo microclima. Respondieron de manera diferente a las distintas variables (tasa de crecimiento, intercambio gaseoso, partición de biomasa, regulación hídrica, inversión en defensa). Los bosques de Ignacio Távara y Locuto tuvieron mayor tasa de crecimiento. Estos bosques se ubican muy cerca entre sí, así que es posible que el viento y la dispersión aerobia del polen hayan permitido que se crucen y comportan un fenotipo común. Tienen características morfológicas muy similares. Por ser zonas productoras de algarrobina y otros productos, probablemente hubo una selección de las mejores plantas morfológicamente (mayor tamaño, mayor número de vainas, tamaño grande de vainas, etc.). Los bosques de Ñapique presentaron la menor tasa de crecimiento, y es posible que, al estar alejados geográficamente,

mantengan un genotipo distinto al de Ignacio Távara y Locuto. Esto explicaría las altas diferencias entre sus características morfológicas.

Unas poblaciones tuvieron mayor inversión en índice de defensa en hojas, como los bosques de Rio Seco y Ñapique Húmedo. Esto puede deberse a un factor selección común en ambas comunidades, probablemente la presión ganadera. La disponibilidad hídrica ha favorecido las actividades ganaderas de ambas zonas. En el caso de Rio Seco, por estar en la zona del Alto Piura, la cual tiene presencia de lluvias torrenciales en época de verano (de diciembre a marzo) y, en el caso de Ñapique Húmedo, por estar muy cerca de la laguna del mismo nombre. Esta presión dio como resultado un proceso de selección, quedando solo los individuos con mayor índice de defensa en hojas. Otras poblaciones tuvieron menor inversión en índice de defensa en hojas, como los bosques de Ignacio Távara y UDEP, por ser bosques secos muy áridos y con muy poca presencia de lluvias en todo el año, especialmente el bosque de la UDEP. La respuesta al pastoreo ha sido fuertemente documentada en el bosque seco, y tiende a provocar una rápida respuesta por parte de la vegetación debido al alto coste en la adquisición de recursos (Drewa & Havstad, 2001; Smit, Vandenberghe, Den Ouden, & Müller-Schärer, 2007).

La partición de biomasa se ha dividido en 3 partes: raíz, tallo y hojas. En lo referente a raíz, los bosques de Locuto e Ignacio Távara fueron los que invirtieron más en producción de raíz. Al ser zonas muy áridas, las raíces tienden a expandirse lo más profundo hasta encontrar el recurso hídrico, y por ello, desarrollaron sus raíces en longitud y grosor. La sequía de estos últimos años ha provocado una fuerte presión de selección en ambos bosques, manteniendo individuos capaces de producir mayor biomasa de raíz y poder captar el recurso hídrico para sobrevivir. Los bosques de Ñapique Seco y Ñapique Húmedo fueron los que menos invirtieron en producción de raíz, esto es lógico, al estar cerca de la laguna Ñapique, de modo que los individuos superiores serian aquellos que

invierten más en la parte aérea para competir por la luz, y menos en raíz. De modo que, los individuos que invirtieron más en producción de raíz, innecesariamente, se han extinguido, quedando solo aquellos individuos con mayor producción en tallo, generándose de esta manera una selección natural. Ñapique Seco y Ñapique Húmedo fueron los bosques que más invirtieron en producción de tallo, para almacenar el Carbono que ha sido captado por las hojas. Los bosques de UDEP y Locuto fueron los que menos invirtieron en producción de tallo. En el caso de Locuto, como se ha mencionado anteriormente, ha invertido más en producción de raíz para captar el recurso hídrico y porque este bosque ha sido modificado genéticamente para ello, al ser un bosque muy árido, y también por la sequía de los últimos años.

La regulación hídrica, al igual que la partición de biomasa, se ha dividido también en 3 partes: raíz, tallo y hojas. Con respecto al agua en la raíz, los bosques de Ñapique Seco y UDEP fueron los que regularon mayor porcentaje de agua. En el caso de Ñapique Seco, por estar cerca de la laguna del mismo nombre, y en el caso de la UDEP, debido a ser una plantación artificial, recibió estímulos a través del manejo para expandir sus raíces hasta lo más profundo para conseguir el recurso hídrico. Los que regularon menor porcentaje de agua en la raíz fueron los bosques de Ignacio Távara y Locuto, debido a la menor biomasa de raíz que contenían. En lo referente al tallo, los bosques de Ñapique Húmedo y Ñapique Seco fueron los que regularon mayor porcentaje de agua en el tallo, esto es lógico, por tener disponibilidad de agua todo el año por estar cerca de la laguna del mismo nombre. Los bosques de Locuto e Ignacio Távara fueron los que regularon menor porcentaje de agua en el tallo, por ser zonas muy áridas. En lo que se refiere al agua en hojas, los bosques de Ignacio Távara y UDEP fueron los que regularon mayor porcentaje de agua en las hojas, como fuentes de reserva hídrica, al ser zonas muy áridas.

A pesar de las diferencias en biomasa total y en la regulación hídrica, no se encontraron diferencias en el intercambio gaseoso. Tanto la tasa fotosintética como la transpiración fue estadísticamente la misma entre todas las poblaciones. Esto significa ⁴⁹ que los mecanismos metabólicos de las poblaciones son similares entre las poblaciones, y por tanto el intercambio gaseoso no está restringido por la variabilidad genética.

Originalmente los bosques de algarrobo de la región Piura se habían considerado de la misma especie (Pasiiecznik *et al.*, 2001). Sin embargo, estudios recientes sugieren que la región presenta más de una especie de *Prosopis* (Vazquez & Ecurra, 2010). Nuestros resultados sugieren que las poblaciones son distintas mas no especies distintas, a pesar de tener características morfológicas diferentes. No se puede afirmar que son especies distintas, probablemente son ecotipos distintos, ya que no hay estudios suficientes con marcadores moleculares, ni con medidas biométricas. Uno de los pocos estudios con marcadores moleculares (AFLPs) asume de hecho que las poblaciones de la región presentan exclusivamente individuos de la especie *Prosopis pallida* (Palacios *et al.*, 2011).

Es posible además que la dispersión anaerobia del polen del algarrobo favorezca el cruce ocasional de las poblaciones, impidiendo procesos de especiación. Las diferencias morfológicas y fisiológicas en respuesta a la disponibilidad hídrica nos permiten afirmar que tenemos 4 ecotipos diferentes: (1) Ñapique Seco con Ñapique Húmedo, (2) Ignacio Távara con Locuto, (3) UDEP con Rinconada y (4) Rio Seco. Ñapique Seco y Ñapique Húmedo tienen la característica de regular fuertemente el consumo de agua y mantenerlo inalterable incluso si las condiciones son óptimas. Ignacio Távara y Locuto tienen la característica de desarrollar bastante biomasa tanto en baja

como en alta disponibilidad hídrica. UDEP y Rinconada tienen la característica de desarrollar casi la misma proporción de hojas. Rio Seco tiene la característica de ser muy plástica a la disponibilidad hídrica, cambiando su desarrollo según las circunstancias.

En la región podemos encontrar 4 fuentes de presión genética. Una de ellas es la precipitación, la cual ha influido bastante si el lugar presenta lluvias intensas en ciertos periodos del año, como en el caso de Rio Seco que presenta lluvias intensas en época de verano (de diciembre a marzo). Este bosque tiene bastante plasticidad a la precipitación (Sales-Come & Hölscher, 2010). Por otro lado tenemos las poblaciones de Ñapique Seco y Ñapique Húmedo, donde la presencia de agua no influencia las características de la planta. Estos bosques tienen poca plasticidad a la precipitación y posiblemente sean más susceptibles a la temperatura (Moles *et al.*, 2014). En los bosques de Ignacio Távara y Locuto, donde la temperatura es muy elevada, la influencia ha sido máxima. Estos bosques tienen bastante plasticidad a la temperatura. En cambio, en el bosque de Rinconada ha sido todo lo contrario, ya que la temperatura es menor teniendo una influencia mínima.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

- Las poblaciones presentaron características diferentes a pesar de haber estado bajo las mismas condiciones.
- Las semillas de los bosques de Ignacio Távara y Locuto presentaron la mayor tasa de crecimiento, mientras que las semillas del bosque de Ñapique en el desierto de Sechura presentaron menor tasa de crecimiento.
- Los factores externos han realizado procesos de selección para definir sus características genéticas.
- A pesar de las diferencias morfológicas y fisiológicas de las poblaciones de algarrobo de la región, no se puede hablar de especies distintas sino de ecotipos distintos, porque no existen barreras que impidan el entrecruzamiento.
- Ante la disminución del recurso hídrico, las plantas tuvieron mayor locación de biomasa en producción de raíz.

CAPITULO 6

RECOMENDACIONES

- Desarrollar planes de gestión forestal en cada uno de los ecotipos descritos de acuerdo a su comportamiento morfológico y fisiológico para hacer un mejor uso de los recursos.
- Realizar programas de recolección de semillas en las poblaciones descritas para preservar la variabilidad genética del algarrobo en la región de Piura.
- Realizar análisis con marcadores genéticos en los 4 ecotipos descritos para determinar los genes y proteínas asociados a las diferencias que poseen.
- Estudiar de qué manera las diferencias morfológicas de las poblaciones pueden estar asociadas a la productividad de cada lugar.

CAPÍTULO 7

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, H., Sotomayor, D., Zenteno, V., & others. (1985). Foliar tissue water parameters of *Prosopis tamarugo* Phil. In *International Round Table on Prosopis Tamarugo Phil., Arica (Chile), 11 Jun 1984*.
- Bravo, M., Rodriguez, M., & De los eros, M. (2003). *Mapa de bosques secos del departamento de Piura. Memoria Descriptiva*. Piura.
- Burkart, A. (1976). A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae subfam. Mimosoideae). *Journal of the Arnold Arboretum*, 450–525.
- Delatorre, J., Pinto, M., & Cardemil, L. (2008). Effects of water stress and high temperature on photosynthetic rates of two species of *Prosopis*. *Journal of Photochemistry and Photobiology. B: Biology*, 92(2), 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2008.04.004>
- Drewa, P. B., & Havstad, K. M. (2001). Effects of fire, grazing, and the presence of shrubs on Chihuahuan desert grasslands. *Journal of Arid Environments*, 48(4), 429–443. <https://doi.org/10.1006/jare.2000.0769>
- El-Keblawy, A., & Ksiksi, T. (2005). Artificial forests as conservation sites for the native flora of the UAE. *Forest Ecology and Management*, 213(1–3), 288–296. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.03.058>
- Galera, F. M. (2000). Las especies del género *Prosopis* (algarrobos) de América Latina con especial énfasis en aquellas de interés económico.
- Juárez, G., Grados, N., & Cruz, G. (2016). Insectos asociados a *Prosopis pallida* (Humb. & Bonpl. ex. Wild.) en el campus de la Universidad de Piura , Perú. *Zonas Áridas*, 16(1), 28–51.
- Lambin, E. F., Geist, H. J., & Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1), 205–241. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>
- Lehner, G., Lutz, C., Delatorre, J., & Cardemil, L. (2001). Field studies on the photosynthesis of two desert Chilean plants: *Prosopis chilensis* and *Prosopis tamarugo*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 64, 36–44.

- López Lauenstein, D. a., Fernández, M. E., & Verga, A. R. (2012). Drought stress tolerance of *Prosopis chilensis* and *Prosopis flexuosa* species and their hybrids. *Trees*, 27(1), 285–296. <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0798-0>
- Moles, A. T., Perkins, S. E., Laffan, S. W., Flores-Moreno, H., Awasthy, M., Tindall, M. L., ... Bonser, S. P. (2014). Which is a better predictor of plant traits: Temperature or precipitation? *Journal of Vegetation Science*, 25(5), 1167–1180. <https://doi.org/10.1111/jvs.12190>
- Nilsen, E. T., Rundel, P. W., & Sharifi, M. R. (1981). Summer Water Relations of the Desert Phreatophyte *Prosopis glandulosa* in the Sonoran Desert of Southern California. *Oecologia*, 50, 271–276.
- Orihuela, C., & Albán, L. (2012). *Servicio de consultoría del “Estudio de identificación, priorización, evaluación e integración de la valorización económica de los servicios ecosistémicos en los procesos de planificación y de inversión pública de la Región Piura.”* Piura.
- Palacios, R., Burghardt, A., Frías-Hernández, J., Olalde-Portugal, V., Grados, N., Alban, L., & Martínez-de la Vega, O. (2011). Comparative study (AFLP and morphology) of three species of *Prosopis* of the Section Algarobia: *P. juliflora*, *P. pallida*, and *P. limensis*. Evidence for resolution of the “*P. pallida*–*P. juliflora* complex.” *Plant Systematics and Evolution*, 298(1), 165–171. <https://doi.org/10.1007/s00606-011-0535-y>
- Pasiecznik, N., Felker, P., Harris, P. J. C., Harsh, L. N., Cruz, G., Tewari, J. C., ... Maldonado, L. J. (2001). *The Prosopis juliflora - Prosopis pallida complex: A Monograph*. Coventry, UK: HDRA.
- Rodríguez, R., Mabres, A., Luckman, B., Evans, M., Masiokas, M., & Ektvedt, T. M. (2005). “El Niño” events recorded in dry-forest species of the lowlands of northwest Peru. *Dendrochronologia*, 22(3), 181–186. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2005.05.002>
- Sales-Come, R., & Hölscher, D. (2010). Variability and grouping of leaf traits in multi-species reforestation (Leyte, Philippines). *Forest Ecology and Management*, 260(5), 846–855. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.06.002>

- Smit, C., Vandenberghe, C., Den Ouden, J., & Müller-Schärer, H. (2007). Nurse plants, tree saplings and grazing pressure: Changes in facilitation along a biotic environmental gradient. *Oecologia*, 152(2), 265–273. <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0650-6>
- Tomar, O. ., Minhas, P. ., Sharma, V. ., Singh, Y. ., & Gupta, R. K. (2003). Performance of 31 tree species and soil conditions in a plantation established with saline irrigation. *Forest Ecology and Management*, 177(1–3), 333–346. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00437-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00437-1)
- Vazquez, L., & Ecurra, J. (2010). *Los algarrobos del Perú*. Lambayeque: Incagro.
- Zúñiga, F. (1986). *Curso de Botánica General*. Facultad de Agronomía – UNP. Piura-Perú.

ANEXO

ANEXO N° 01. CROQUIS DEL CAMPO EXPERIMENTAL.

Diseño en Bloques al Azar, con 8 Repeticiones por Tratamiento. Dos niveles de riego, 40% (amarillo) y 80% (azul), y siete zonas de estudio (UD: UDEP, LO: Locuto, RI: Rinconada, RS: Rio Seco, ÑS: Ñapique Seco, ÑH: Ñapique Húmedo, e IT: Ignacio Távara).

1	UD	LO	RS	ÑH	RI	ÑS	IT	UD	ÑH	IT	RS	RI	LO	LO	2
	RS	ÑH	RI	ÑS	IT	UD	LO	RI	ÑS	ÑH	UD	IT	RS	ÑS	
3	ÑS	ÑH	IT	RS	RI	IT	ÑH	ÑH	LO	ÑS	ÑS	LO	RS	IT	4
	LO	RI	UD	UD	RS	LO	ÑS	ÑH	RS	RI	UD	RI	IT	UD	
5	LO	ÑH	IT	ÑS	RI	IT	UD	ÑH	IT	UD	ÑS	LO	ÑS	LO	6
	RI	ÑS	RS	ÑH	LO	RS	UD	ÑH	RI	UD	RI	RS	RS	IT	
7	LO	UD	UD	LO	RI	RS	RI	ÑS	IT	LO	UD	RS	ÑH	RI	8
	ÑS	ÑS	IT	ÑH	RS	IT	ÑH	LO	ÑS	UD	IT	RS	RI	ÑH	

ANEXO N° 02. PROMEDIOS POR TRATAMIENTO.

Riego	Zona	Shoot/root g/g (PS)	Planta total g (PS)	Raiz % (PS)	Tallo % (PS)	Hojas % (PS)	Raiz (Agua%)	Tallo (Agua%)	Hojas (Agua %)	*A area umol CO ₂ / cm ² /s	**E mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	***gs mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	Pot. Hidrico (Ψ) (MPa)	I. Defensa Hoja (g.g ⁻¹)
R0	UD	1.16	2.96	0.49	0.18	0.33	44.60	59.55	62.86	8.65	1.58	61.84	28.13	0.00
R0	LO	1.08	4.70	0.50	0.21	0.29	40.45	59.40	62.84	8.19	1.48	53.46	26.88	0.01
R0	RS	1.29	0.82	0.47	0.17	0.36	38.47	61.46	63.45	8.14	1.72	62.98	25.43	0.03
R0	ÑH	1.26	2.01	0.47	0.23	0.30	43.78	62.34	63.44	10.46	1.85	76.85	27.63	0.03
R0	RI	0.97	2.60	0.53	0.17	0.30	38.17	62.32	63.98	8.67	1.54	56.59	26.38	0.01
R0	ÑS	1.28	2.85	0.46	0.26	0.28	43.98	61.93	61.15	10.67	2.08	78.40	26.13	0.02
R0	IT	0.74	4.96	0.59	0.16	0.25	35.13	60.31	64.59	8.48	1.84	61.52	27.25	0.01
R1	UD	1.40	9.91	0.45	0.24	0.31	42.32	62.72	66.83	8.62	2.11	71.31	23.13	0.01
R1	LO	1.01	17.59	0.51	0.23	0.26	40.92	60.76	64.82	8.37	1.85	65.90	22.63	0.02
R1	RS	1.32	13.12	0.44	0.27	0.30	43.09	61.03	64.70	8.20	1.89	64.35	22.25	0.03
R1	ÑH	1.87	7.45	0.39	0.31	0.30	41.80	64.86	63.48	8.88	1.76	81.58	23.00	0.02
R1	RI	1.67	14.39	0.39	0.30	0.31	44.11	62.98	65.42	7.78	1.99	63.30	22.00	0.02
R1	ÑS	2.05	4.17	0.36	0.30	0.34	45.81	64.63	63.29	10.97	2.06	97.26	24.63	0.02
R1	IT	1.63	14.48	0.39	0.29	0.32	41.85	60.58	65.27	7.75	1.80	61.98	21.63	0.01

Elaboración propia.

*Aarea: Fotosíntesis; **E: Transpiración; ***gs: Conductancia estomática.

ANEXO N° 03. FIGURAS



Figura 01. Analizador de Gases Infrarrojo (IRGA) CID Bio - Science CI - 340.

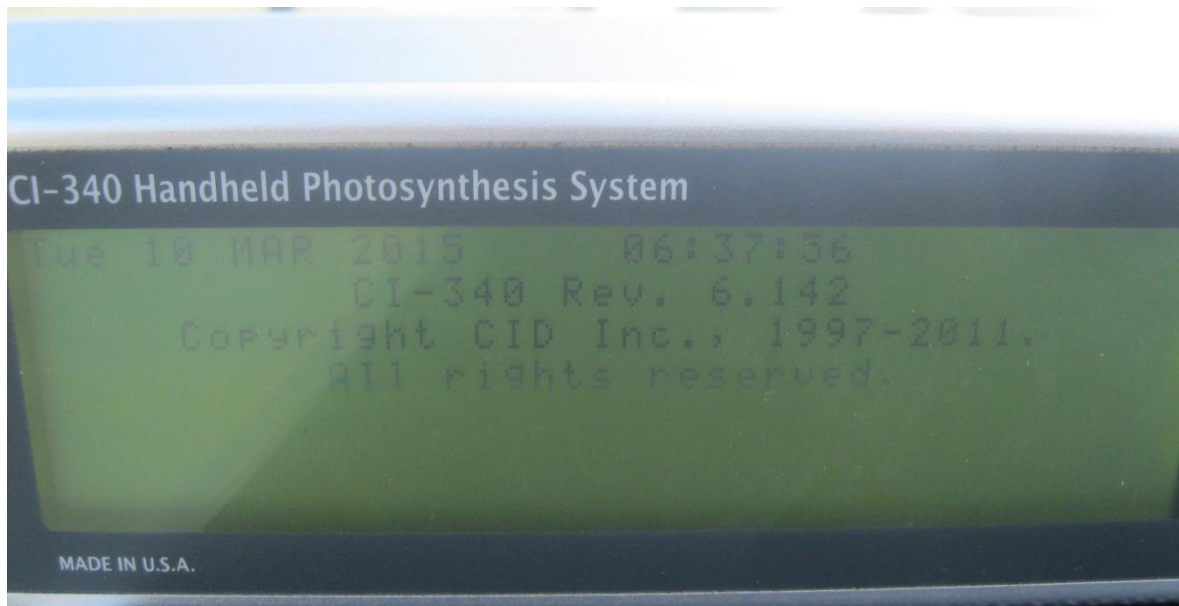


Figura 02. Analizador de Gases Infrarrojo (IRGA) CID Bio - Science CI - 340.



Figura 03. Analizador de gases infrarrojo (IRGA) midiendo fotosíntesis.



Figura 04. Analizador de gases infrarrojo (IRGA) midiendo fotosíntesis.



Figura 05. Cámara Scholander PMS Instrument Company Model 600.



Figura 06. Balanza Digital de Alta Precisión Sartorius BH - 300.



Figura 07. Estufa Memmert.